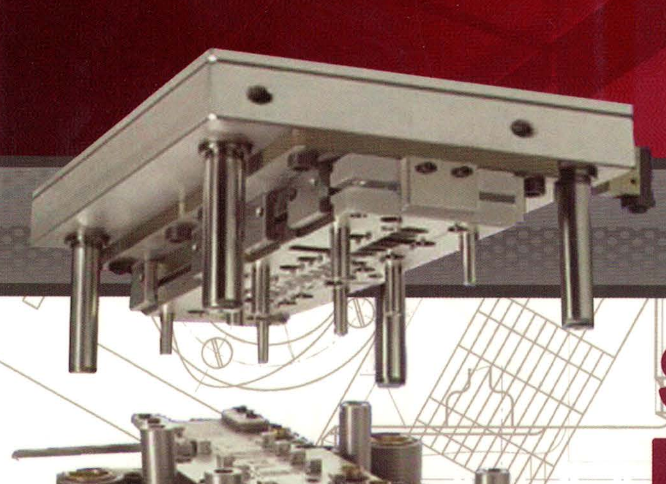


冲模设计手册

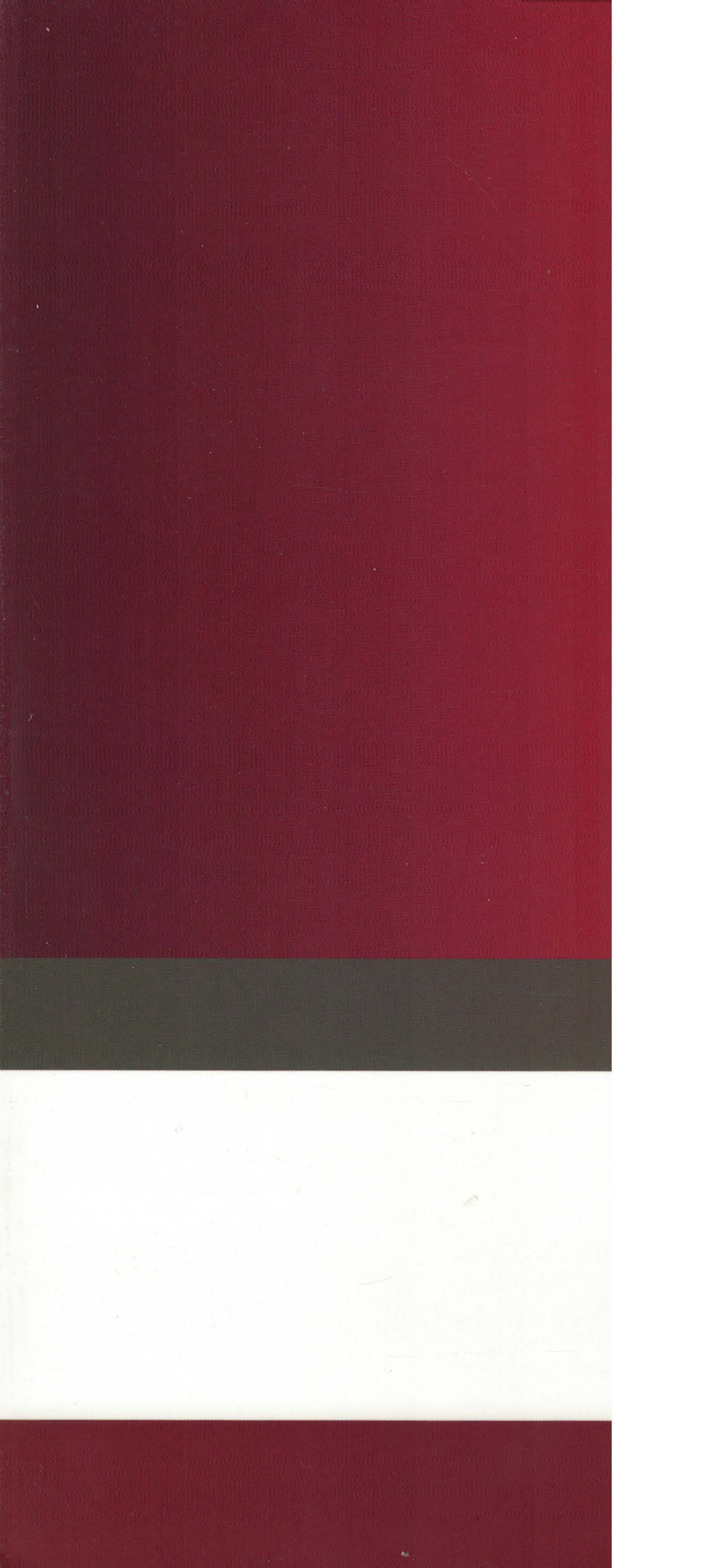


◎ 郑展 主编

Stamping Die Design Manual

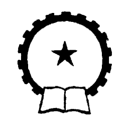






冲 模 设 计 手 册

郑　展　主编



机 械 工 业 出 版 社

本手册吸收近年来国内外模具设计与制造的先进实用技术，面向生产实际，是一本以科学性、先进性、实用性为特点的工具书，本手册详细介绍了冲模设计与冲压工艺常用的实用知识，并以中、小型冲模为主，用较大篇幅介绍了各种冲模设计示例

本手册可作为冲模设计师和冲压工艺师的工具书，也可供冲模设计、制造技师及技术工人使用。还可供有关专业的工程技术人员及大专院校、职业院校的师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

冲模设计手册/郑展主编.—北京：机械工业出版社，2013.6
ISBN 978-7-111-42712-4

Ⅰ.①冲…　Ⅱ.①郑…　Ⅲ.①冲模－计算－手册　Ⅳ.①TG385.2－62

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第115361号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：邓振飞　责任编辑：邓振飞
版式设计：霍永明　责任校对：张　媛
责任印制：乔　宇
北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）
2013年10月第1版第1次印刷
184mm×260mm · 26印张 · 706千字
0 001—4000册
标准书号：ISBN 978-7-111-42712-4
定价：59.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：（010）88361066	教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：（010）68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：（010）88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**

序

郑展高级工程师从事模具设计和模具教育工作近60年，积累了丰富的实践经验和专业知识，是名副其实的模具专家。这次，他在总结、归纳和研究的基础上完成的本手册，为我国模具行业的发展和模具教学的进步做出了新的贡献。

冲模是金属、非金属板件冲压成形所专用的工具，可分为单工序冲模、复合冲模、级进冲模、精冲模、组合冲模与经济性冲模等几大类。

冲模设计、冲压机械的性能和冲压工艺参数三者的优化组合，是冲件冲压成形精度和质量的保证。其中，针对冲件的结构要素、冲床性能和冲压成形工艺参数进行冲模的优化设计，既是构成冲压成形工艺系统的条件和基础，也是冲模制造过程的首要阶段。可以说，冲模的设计质量决定着产品的成形性能。

为促进冲模制造过程的智能化、数字化，改变模具单体制造模式，本手册通过总结、归纳、分析、研究，并辅以相应规范、标准，为建立冲模设计、数字化加工所必须的三大数据库提供依据与基础，这三大数据库为：

- 冲模通用、标准零、部件的三维、参数化的工程图数据库。
- 定型冲模结构的三维、参数化冲模产品系列工程图数据库。
- 冲模的三维原型结构设计系列图库。

为此，本手册系统地阐述了各类冲模的应用与特征，结构及其要素的设计与计算方法；介绍了冲模与冲压工艺的关系与优化组合；列出了各类各种冲模的典型结构及相应的规范和标准。书中包含有大量的图例及相关计算实例，内容丰富、实用便查，为推动智能化、数字化设计，以及零件的成形加工提供了技术基础，也是进行冲模制造技术教育、培训的实用参考书。

中国模协顾问、教授

许发樾

前　　言

冲压工艺在电子、电器、仪器、仪表、汽车、航天、航空、军工及日用工用品中应用广泛，而冲模是推行冲压工艺必不可少的工艺装备。电子信息产业的迅速发展，使冲模的设计与制造发生了根本的变革，更对冲压工艺师与冲模设计师提出了新的要求，本手册正是在这种背景下编写的。

本手册第一章从冲模设计入手，介绍了冲裁、弯曲、拉深、冷挤压的结构和零件设计过程，其余章节围绕其内容提供了理论和经验数据。着重介绍了中、小型冲压件的工艺及冲模设计，以及冲模标准的应用。

本手册既介绍了国内的先进实践经验和科研成果，又借鉴了国外的先进知识，力求先进、简明、实用、便查。全文以图表为主，具有技术方法先进、典型结构图例新颖、标准数据资料新、实用性强等特点。本手册可作为冲模设计师和冲压工艺师的工具书，也可供冲模设计制造技师及技术工人使用，还可供有关专业的工程技术人员及大专院校、职业院校的师生参考。

本手册由郑展主编，参加编写的有郑小红、江东、任惠贤、孙邦超、刘宏霞、赵颖倩、付小欧、李四友。

由于编者水平有限，难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

编　者

目　　录

第一章　冲 模 设 计

在工业生产中，用各种压力成形机械（如压力机、塑料注塑机、压铸机等）和装在其上的专用工艺装备，把金属或非金属材料制成所需形状的零件或制品，这种专用工艺装备称为模具。

冲模是冲压加工中所用的工艺装备，即通过压力机加压将金属或非金属板料分离，成形或接合而得到制件的工艺装备叫冲模。

第一节　冲裁模设计

使板料分离，得到所需形状和尺寸的平片毛坯或制件的冲模叫冲裁模。

一、落料模

沿封闭的轮廓将制件或毛坯与板料分离的冲模叫落料模。

1. 导柱式弹压卸料下出件落料模

设计落料模时，当卸料力较小，制件没有特殊几何形状要求时，一般采用导柱式弹压卸料下出件落料模。由于弹压卸料工作面外露，便于观察使用情况，使用维修方便。制件直接从凹模洞口落下，安全可靠，生产率高。此外，采用导柱、导套导向，使冲模间隙容易得到保证。设计落料模时，只要凸模强度和刚度足够高，应采用直通式凸模，以便于线切割加工。图 1-1 所示为垫片制件图，图 1-2 所示为垫片排样图，图 1-3 所示为垫片导柱式弹压卸料下出件落料模装配图，图 1-4 ~ 图 1-10 所示为其主要零件图，设计时应尽量采用标准件和标准模架。本模具采用非标准模架设计方法。由于冲模装配采用配加工，所以凹模、卸料板、凸模固定板型孔的形状尺寸可不标注，只在凹模上标注位置尺寸，螺钉、销钉孔的下模标在凹模上，上模标在凸模固定板上，其他板件可不标出。

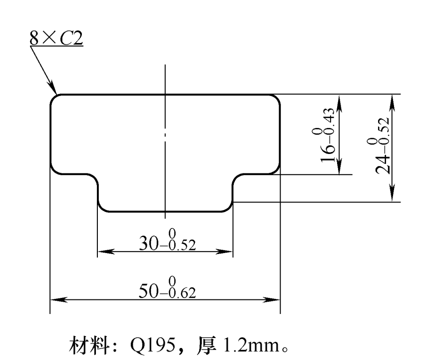


图 1-1　垫片制件图

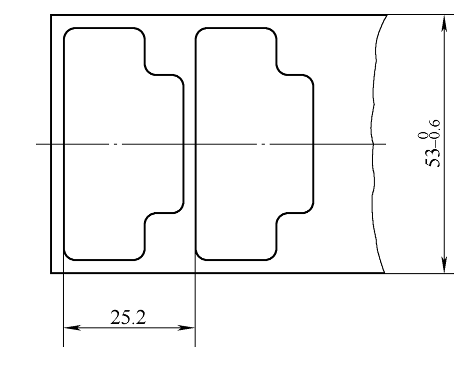


图 1-2　排样图

2. 导柱式固定卸料下出件落料模

在冲裁材料厚度大于 1.5mm，且冲裁力和卸料力较大，可采用固定卸料板下出件落料模，如图 1-11 所示，由于冲裁力和卸料力较大，凸模可采用如图 1-12 所示结构形式，仍可采用线切割加工成形。

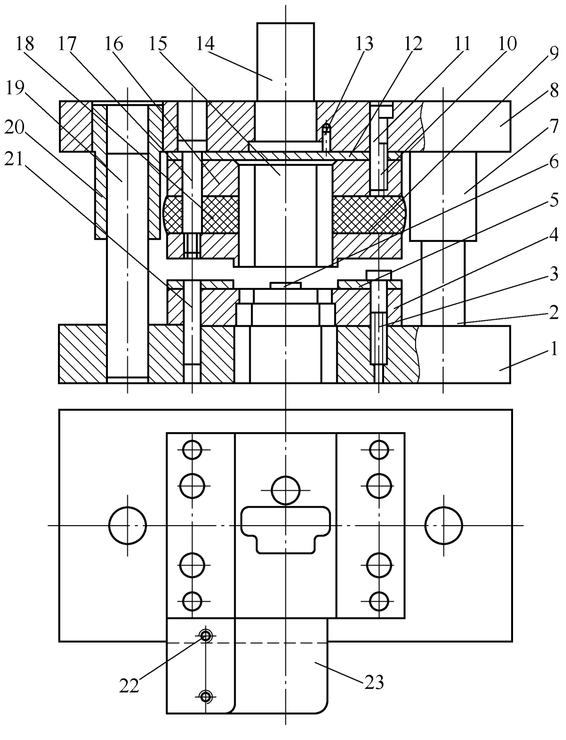
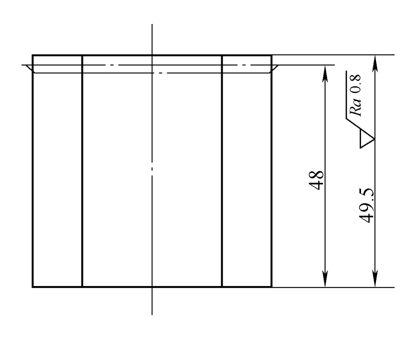
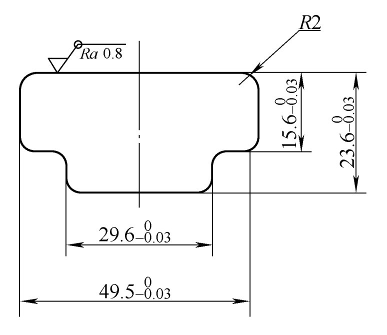


图 1-3 垫片落料模

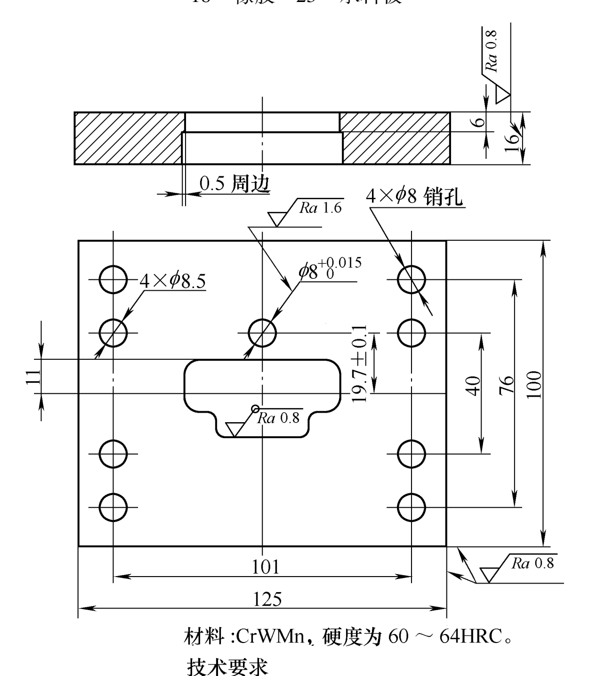
1—下模座 2、19—导柱 3、10、22—螺钉 4—凹模 5—导料板 6—挡料销 7、20—导套 8—上模座 9—卸料板 11、13、21—销 12—垫板 14—模柄 15—凸模 16—凸模固定板 17—卸料螺钉 18—橡胶 23—承料板





材料:CrWMn，硬度为 58 ～ 62HRC。

图 1-4 凸模

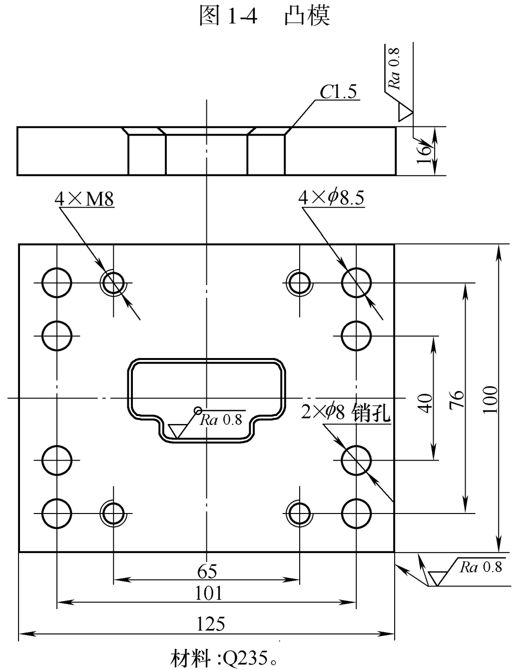


材料:CrWMn，硬度为 60 ～ 64HRC。

技术要求

型孔按凸模配作，双面间隙达 0.18mm。

图 1-5 凹模



材料:Q235。

技术要求

型孔按凸模配作，过盈量小于 0.01mm。

图 1-6 凸模固定板

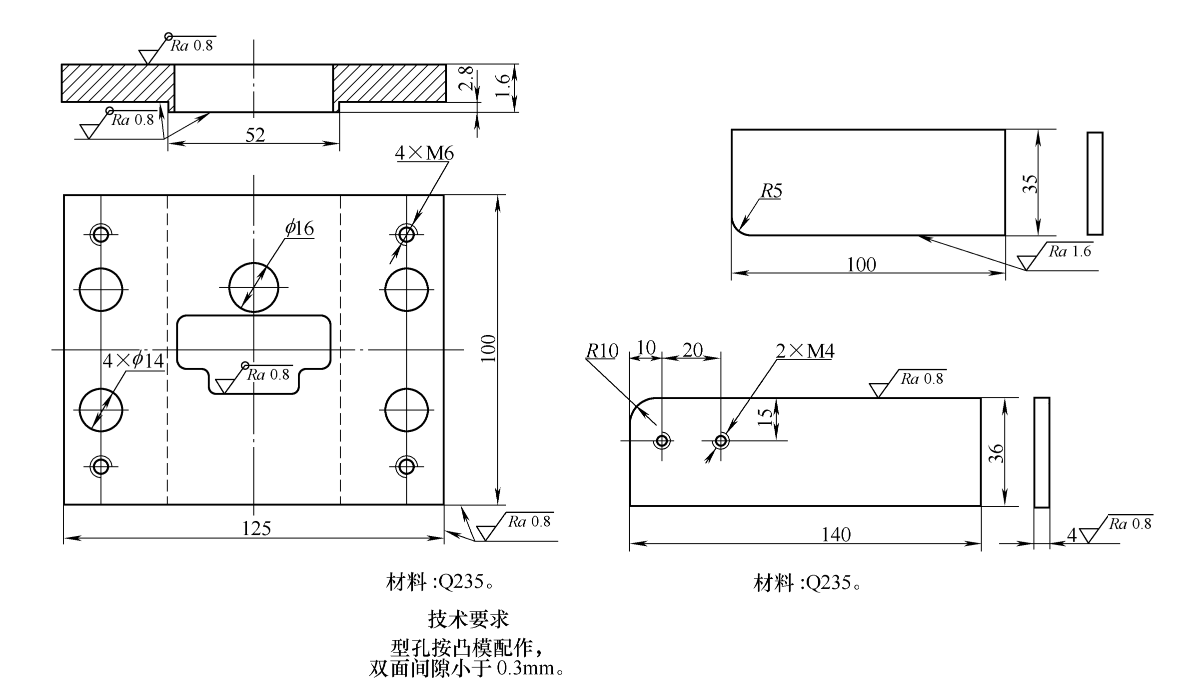


图 1-7　弹压卸料板　　　　图 1-8　导料板

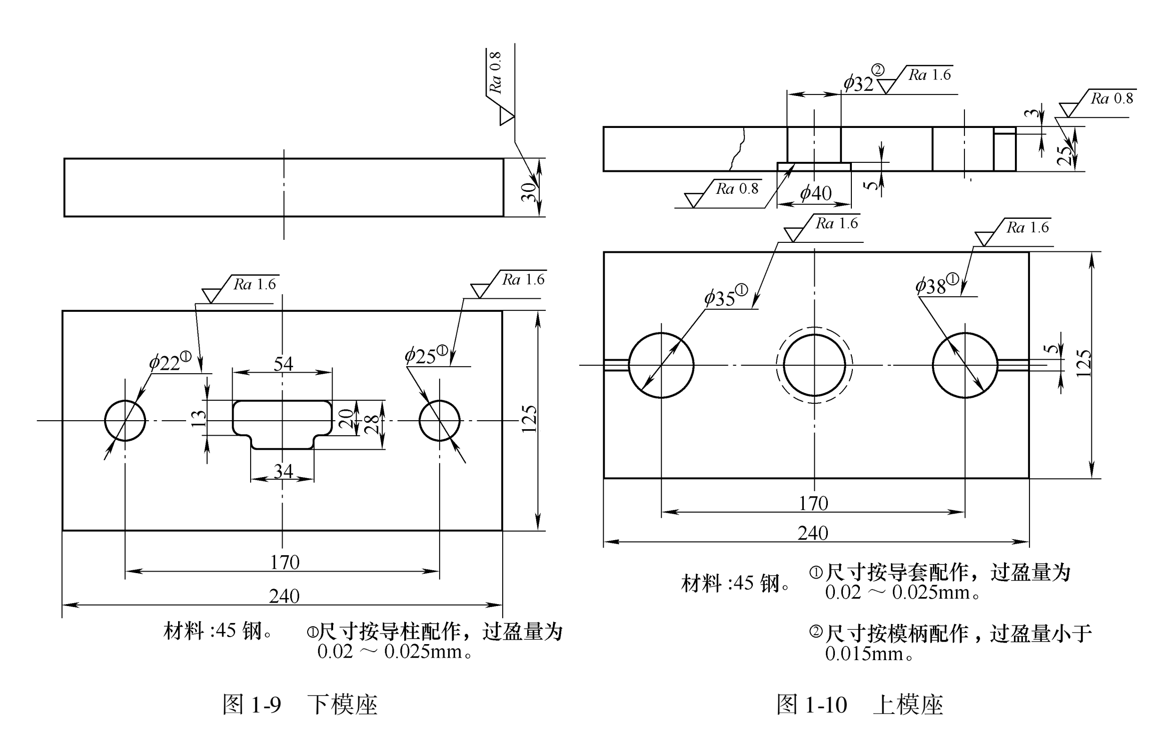


图 1-9　下模座　　　　图 1-10　上模座

3. 导柱式弹压卸料上出件落料模

在冲裁材料厚度小于 2mm，且冲裁力和卸料力不太大，当制件直线度和平面度要求较高时，应采用弹压卸料上出件落料模，如图 1-13 所示，由于冲模采用导柱、导套导向，且冲裁时凸模 15 和顶件块 21 将材料压紧完成冲裁分离，所以，制件变形小，直线度和平面度误差小。

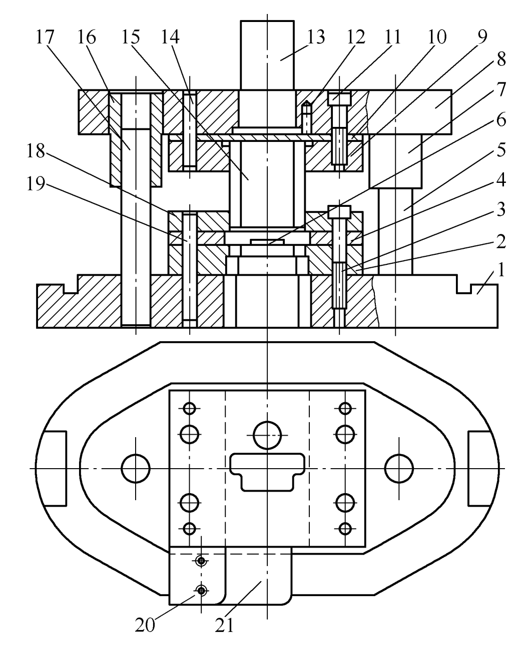
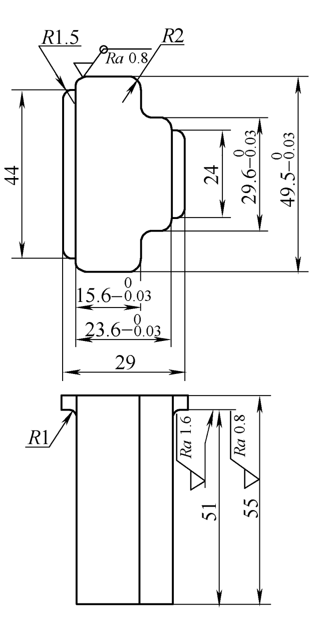


图 1-11　垫片固定卸料下出件落料模

1—下模座　2—凹模　3、11、20—螺钉　4—导料板　5、17—导柱
6—挡料销　7、16—导套　8—上模座　9—凸模固定板　10—垫板
12、14、19—销　13—模柄　15—凸模　18—固定卸料板　21—承料板



材料：CrWMn，硬度为 58~ 62HRC。

图 1-12　凸模

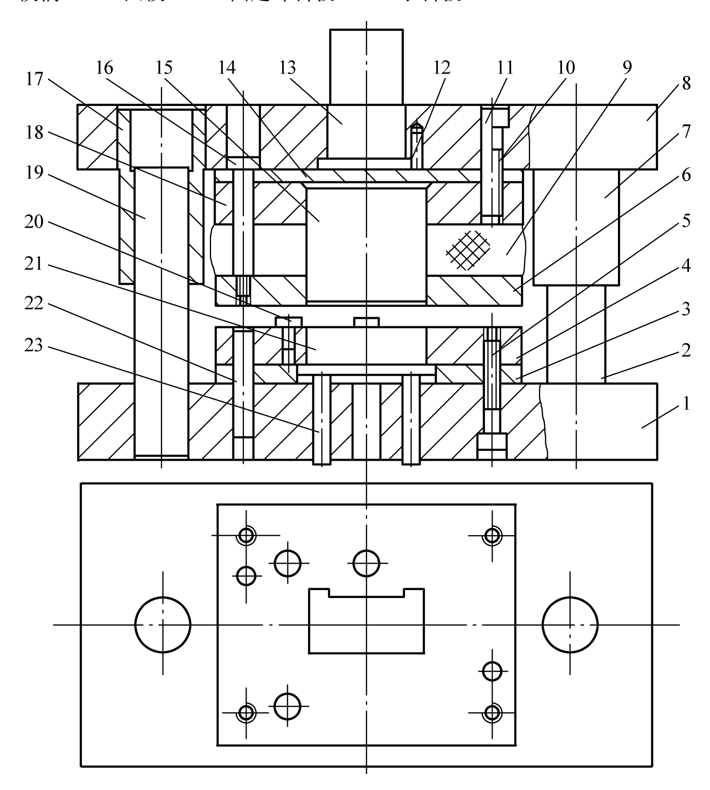


图 1-13　垫板弹压卸料上出件落料模

1—下模座　2、19—导柱　3、14—垫板　4—凹模　5、10—螺钉　6—弹压卸料板　7、17—导套
8—上模座　9—橡胶　11、12、22—销　13—模柄　15—凸模　16—卸料螺钉　18—凸模固定板
20—导料销（挡料销）　21—顶件块　23—顶杆

4. 导板式落料模

当工厂有偏心压力机时，可采用导板式落料模，如图 1-14 所示为摩擦片制件图和排样图，采用图 1-15 所示导板式落料模，凸模依靠导板导向，导板的精度直接影响模具的使用寿命，所以，导板和凸模采用 H7/h6 配合。使用导板模时，凸模不能离开导板，因为只有偏心压力机行程可调能达到要求，而曲轴压力机是不能使用导板模的，曲轴压力机行程较大，使用时凸模必然会离开导板再重新进入导板，这时，凸模的锋利刃口会被碰伤或者啃坏导板导向孔，甚至产生冲压事故。

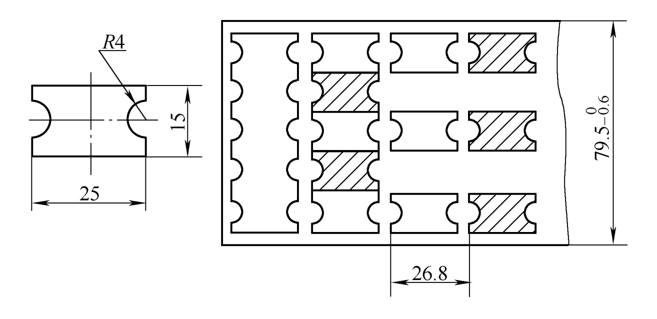


图 1-14　摩擦片制件图和排样图

为了便于拆卸维修，上模部分小于下模部分，以便方便拆下下模螺钉、销钉，为方便拆卸螺钉，也可从下向上连接。

导板式落料模和导柱模比较，它具有体积小、质量轻、制造成本低等优点，所以导板模不但可用于落料模，也可用于级进模。

二、冲孔模

在毛坯或板料上，沿封闭的轮廓分离出废料得到带孔制件的冲模叫冲孔模。

1. 拉深件口部向下冲孔模

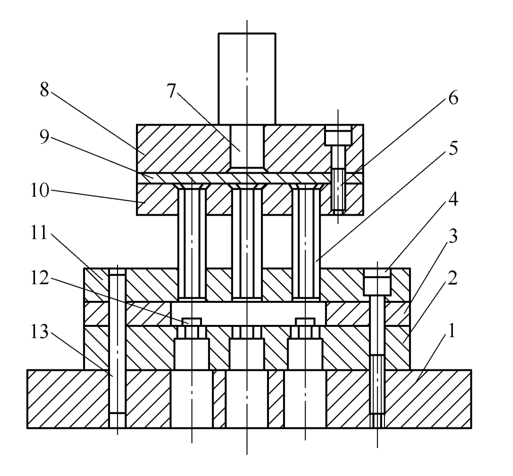
当拉深件底部有孔，且孔边距侧壁距离较大时，应采用拉深件口部向下冲孔模，利用凹模外形定位，这样可缩短凸模长度，提高其强度和刚性及稳定性，显著提高模具寿命。图 1-16 所示为拉深件口部向下冲孔模，图 1-17 ~ 图 1-25 所示为主要零件图。由于圆形零件卸料板和凸模固定板型孔可直接由车削加工成形，卸料板型孔可直接标注极限偏差车出，凸模和凸模固定板配合为 H7/m6，若凸模固定板按 H7 公差制造，单件生产很难达到要求，因而将凸模固定板制造偏差放大，可采用相应尺寸的 IT8 级精度的数值，凸模按固定板配作，过盈量小于 0. 01mm。

2. 拉深件口部向上冲孔模

当拉深件孔边距侧壁距离较小时，应采用口部向上冲孔模，如图 1-26 所示，这样凹模外形尺寸不受拉深件直径限制，凹模强度大为提高，但增加了凸模长度，造成凸模强度和刚性较差。

3. 悬臂式冲孔模

图 1-27 所示为拉深件或筒形件壁部冲孔的悬臂式冲孔模，凹模 10 固定在支架 19 上，支架 19 固定在支座 16 上，支座 16 固定在下模座 1 上。凸模 7 用螺钉 8 固定在模柄 9 上，导板 6 起导向兼卸料作用。



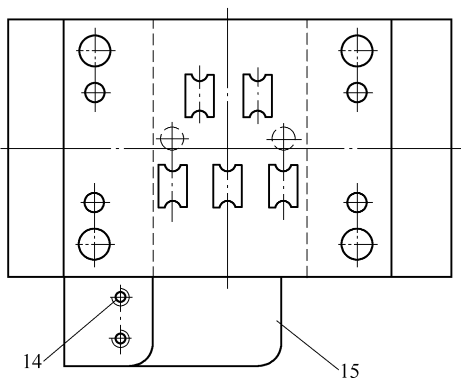
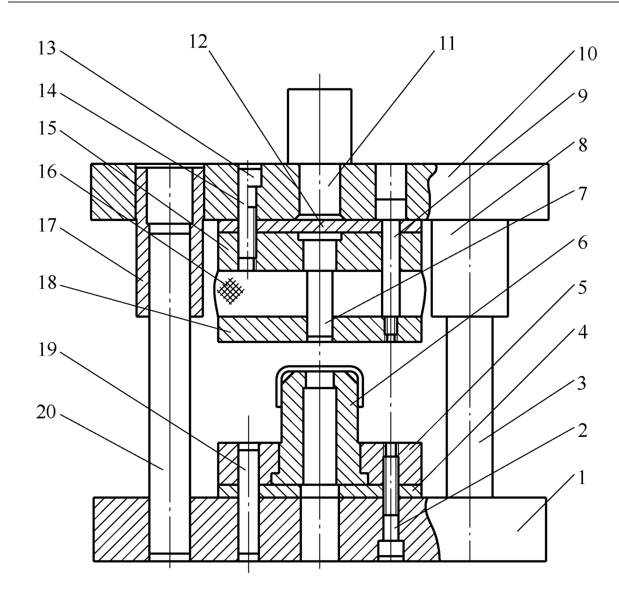
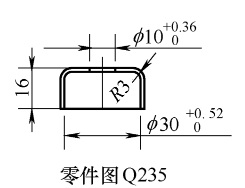


图 1-15　导板式落料模

1—下模座　2—凹模　3—导料板　4、6、14—螺钉　5—凸模　7—模柄　8—上模座　9—垫板　10—凸模固定板　11—导板　12—挡料销　13—销　15—承料板

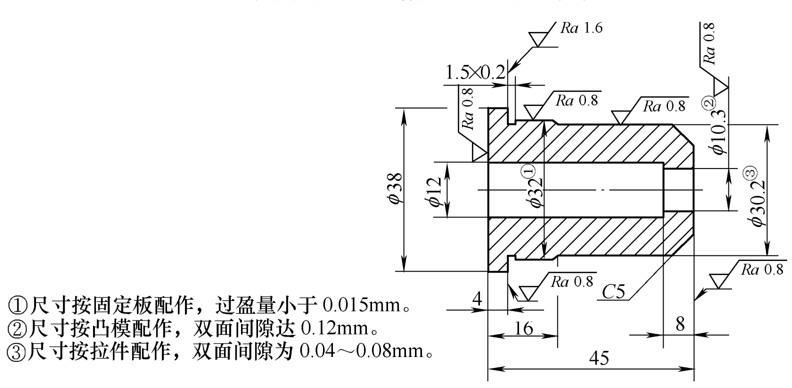




技术要求：1. 导向精度保证达到Ⅰ级精度模架要求。
2. 试冲时冲件毛刺不大于 0.03mm。
3. 试冲件数不少于 300 件。

图 1-16　拉深件口部向下冲孔模

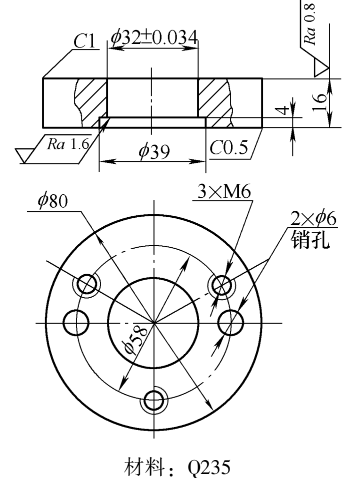
1—下模座　2、13—螺钉　3、20—导柱　4、12—垫板　5—凹模固定板　6—凹模　7—凸模　8、17—导套　9—卸料螺钉　10—上模座　11—模柄　14、19—销　15—凸模固定板　16—橡胶　18—弹压卸料板



①尺寸按固定板配作，过盈量小于 0.015mm。
②尺寸按凸模配作，双面间隙达 0.12mm。
③尺寸按拉件配作，双面间隙为 0.04～0.08mm。

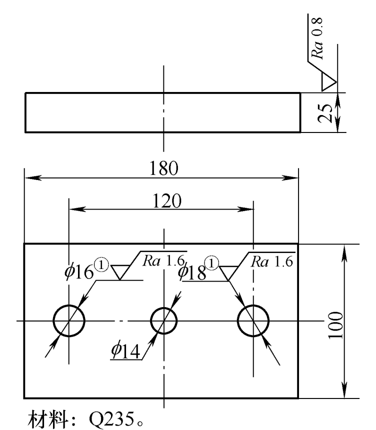
材料：CrWMn，60～64HRC

图 1-17　凹模



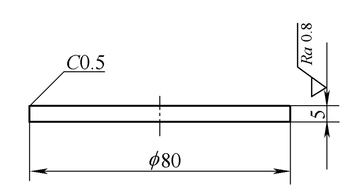
材料：Q235

图 1-18　凹模固定板



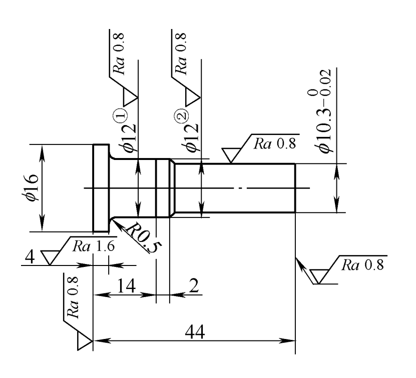
材料：Q235。
① 尺寸按导柱配作，过盈量为 0.015～0.02mm。

图 1-19　下模座



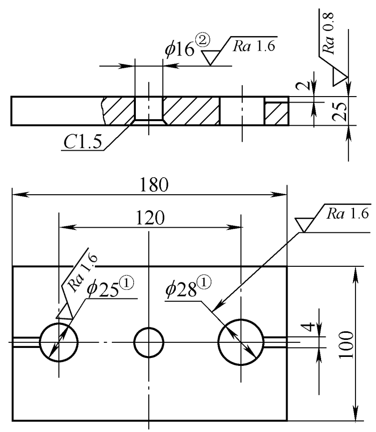
材料：45 43～48HRC

图 1-20 垫板



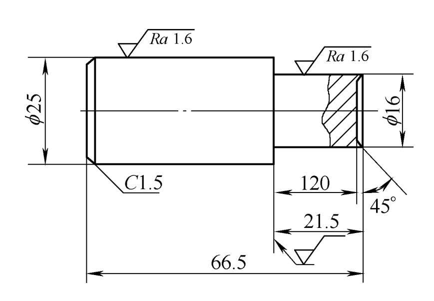
材料：CrMn，硬度为 58～62HRC。
①尺寸按凸模固定板配作，过盈量小于 0.01mm。
②尺寸比①尺寸小 0.02mm。

图 1-21 凸模



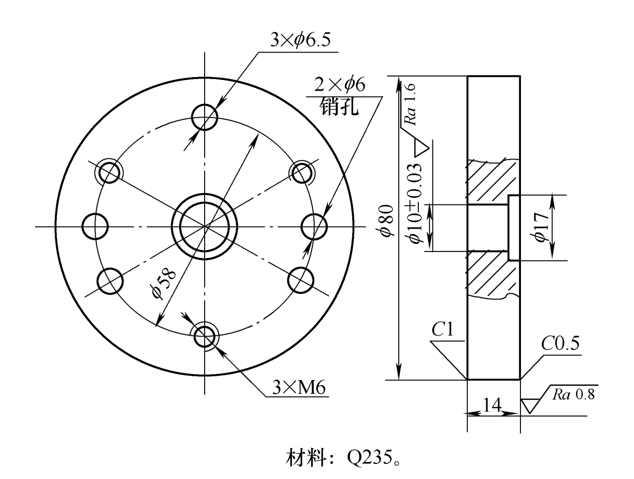
材料：Q235。
①尺寸按导套配件，过盈量为 0.015～0.02mm。
②尺寸按模柄配作，过盈量为 0.006～0.015mm。

图 1-22 上模座



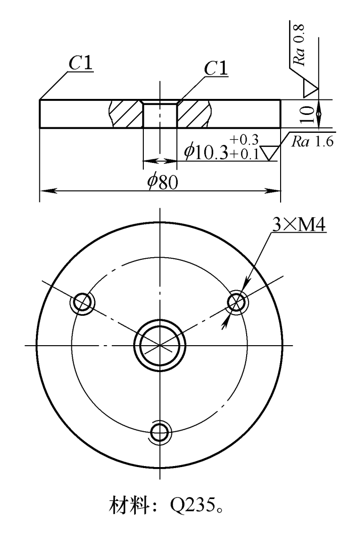
材料： Q235

图 1-23 模柄



材料：Q235。

图 1-24 凸模固定板



材料：Q235。

图 1-25 弹压卸料板

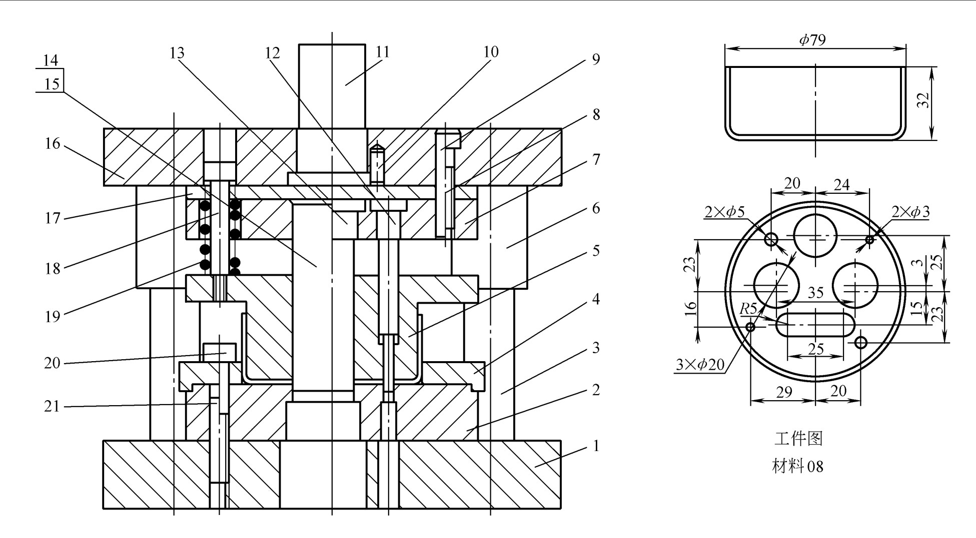


图 1-26　拉深件口部向上冲孔模

1—下模座　2—凹模　3—导柱　4—定位套　5—卸料板　6—导套　7—凸模固定板　8、20—螺钉
9、10、21—销　11—模柄　12、13、14、15—凸模　16—上模座　17—垫板　18—卸料螺钉　19—弹簧

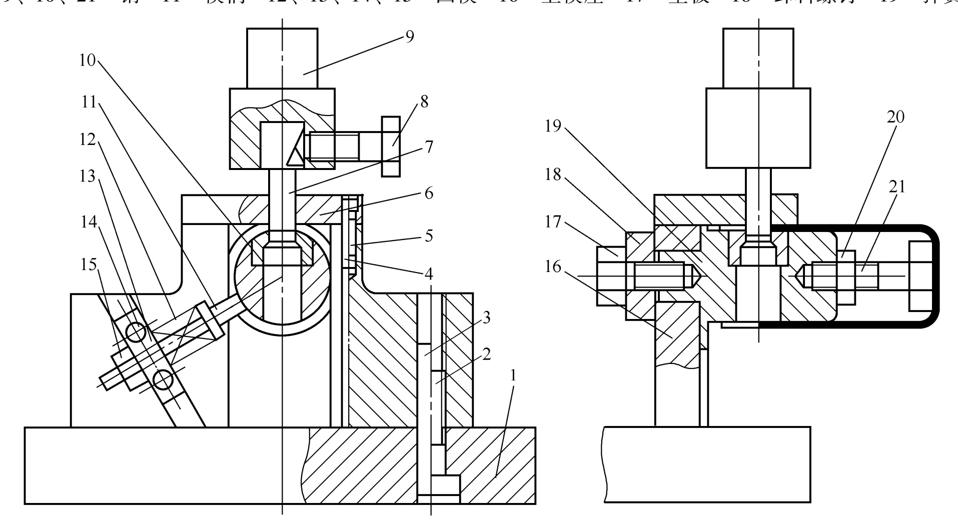


图 1-27　悬臂式冲孔模

1—下模座　2、5、8、14、17、20—螺钉　3、4—销　6—导板　7—凸模　9—模柄　10—凹模
11—定位销　12—弹簧　13、19—支架　15、21—螺母　16—支座　18—垫圈

制件的定位方法是，轴向靠紧螺钉 20 定位，孔距定位是当冲完第一个孔后，转动 120°，靠定位销 11 落入已冲好的孔中定位，接着冲第二个孔，同样方法冲第三个孔。

4. 悬臂式对冲冲孔模

图 1-28 所示为悬臂式对冲冲孔模，两凸模 6、17 分别装在上模凸模固定板 22 和下模凸模固定板 18 上，凹模 5 固定在支架 16 上。支架 16 由导向柱 24 导向可做上下运动，滑键 27 装于支架 16 上并沿导向柱 24 的滑槽滑动，以保证支架 16 相对于导向柱 24 不发生转动。该冲模在压力机的一次行程中可同时冲出管壁上两个相对的孔，支架受力较平衡，可避免悬臂式单冲时因产生较大弯矩而引起的强度不足问题。

5. 单斜楔式冲孔模

图 1-29 所示为单斜楔式冲孔模，其工作原理是：当上模下行时，斜楔 7 靠斜面使上滑块 10

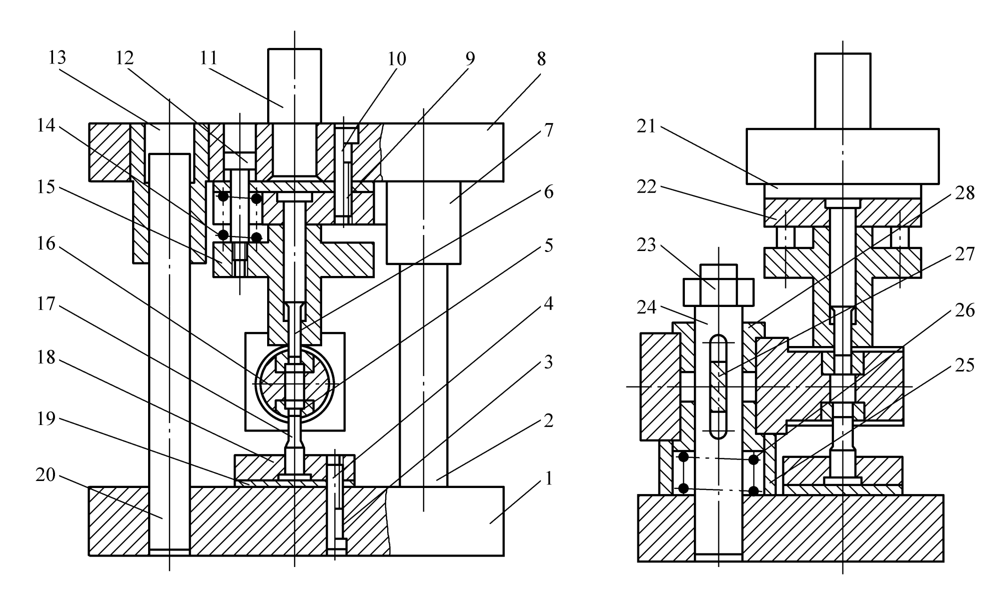


图 1-28　悬臂式对冲冲孔模

1—下模座　2、20—导柱　3、9—螺钉　4、10—销　5—凹模　6、17—凸模　7、13、28—导套　8—上模座　11—模柄　12—卸料螺钉　14、26—弹簧　15—压板　16—支架　18、22—凸模固定板　19、21—垫板　23—螺母　24—导向柱　25—限位套　27—滑键

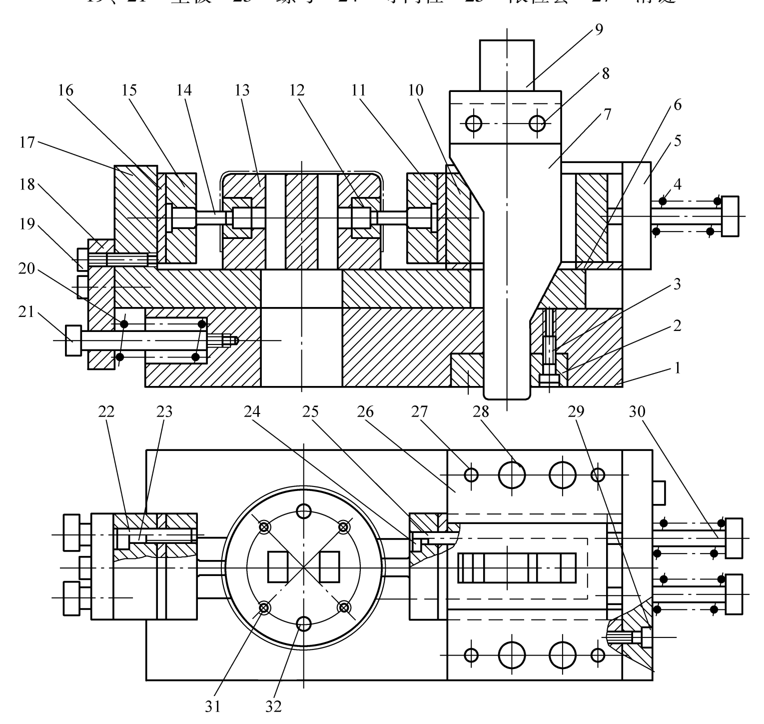


图 1-29　单斜楔式冲孔模

1—下模座　2—导向套　3、19、23、24、28、29、31—螺钉　4、20—弹簧　5、18—挡板　6—垫板　7—斜楔　8、22、25、27、32—销　9—模柄　10—上滑块　11、15—凸模固定板　12—凹模　13—定位柱　14—凸模　16—垫板　17—下滑块　21、30—卸料螺钉　26—导向板

向左移动，下滑块 17 向右移动，上滑块 10 通过凸模固定板 11 固定凸模 14，下滑块 17 通过凸模固定板 15 固定凸模 14。当上模下行到下死点时，凸模 14 进入凹模 12 中，将拉深件或管壁上的两孔冲出。上模上行时，上、下滑块靠弹簧 4、20 复位，冲孔废料通过漏料孔排出。

6. 圆锥保持器冲孔模

图 1-30 所示为在圆锥保持器上冲 11 个孔的冲窗孔模，由于凸模是从四周向中间移动对制件进行冲孔，故此种结构一般用于较小尺寸的制件。

工作时，毛坯套在凹模 10 上，当压力机滑块下行时，卸料筒 3 先接触毛坯，然后凸模 16 进

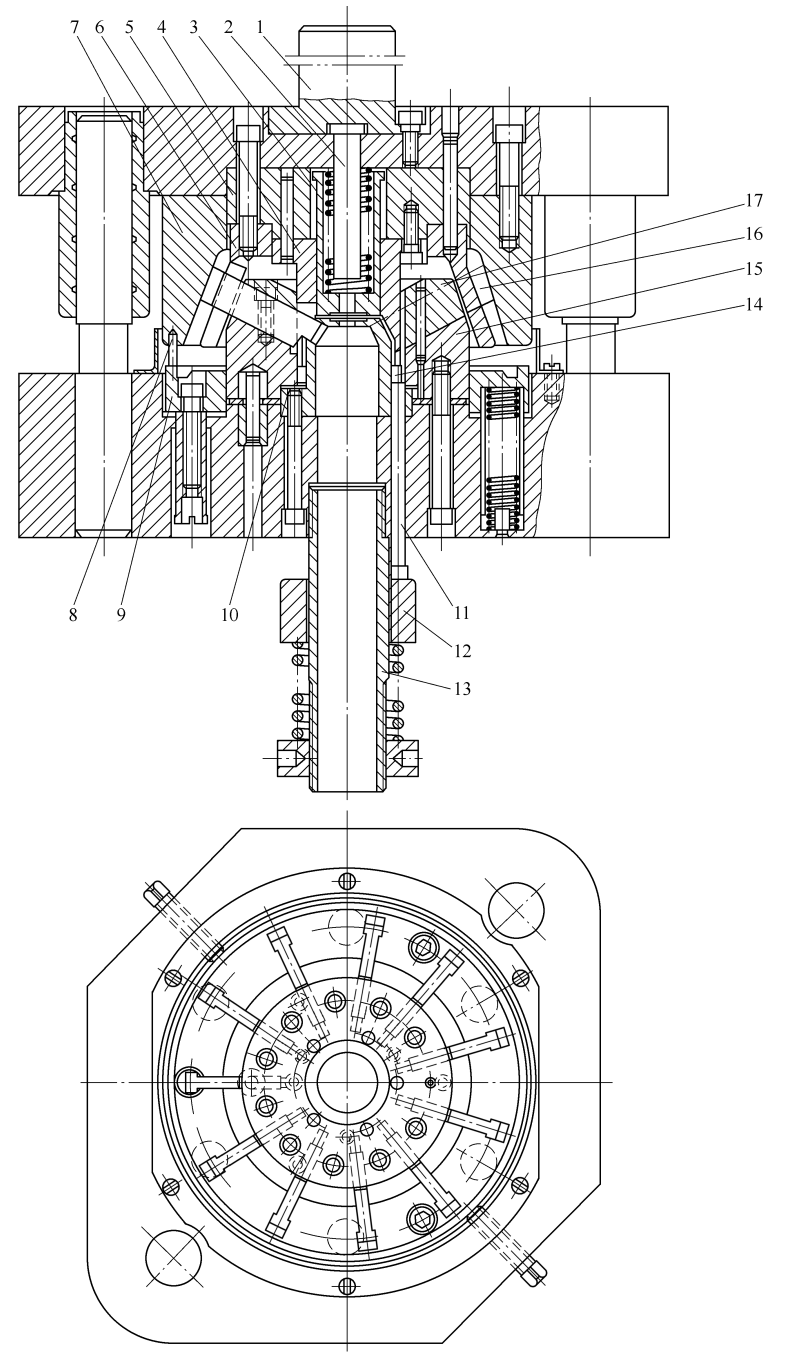


图 1-30　圆锥保持器冲孔模

1—模柄　2—推杆　3—卸料筒　4—压料器　5—定位垫圈　6—凸模退出器　7—圆锥筒
8—定位器顶杆　9—凸模定位器　10—凹模　11—顶杆　12—支板　13—螺杆
14—顶件环　15—导向架底座　16—凸模　17—导向架

入凸模退出器6的槽内，圆锥筒7的定位器顶杆8下压凸模定位器9逐渐下降脱开凸模16。在圆锥筒7锥面的作用下，11个凸模16同时沿导向架17槽内向中间移动，进行冲孔。

冲孔废料沿凹模的漏料孔、螺杆13内孔落下。

压力机滑块上升时，凸模退出器6同时上升并推动凸模台肩，使11个凸模同时向外移动。当凸模退出器6和圆锥筒7即将脱离凸模16时，凸模16的下端已进入在弹簧作用下逐渐上升的凸模定位器9的槽内，使凸模16不能向中间移动。

冲孔后制件由顶杆11的顶件环14顶出。

三、切断模

型材、棒料、管料以及经剪床剪成的条料，需继续切成精度要求不高的各种短料时，常采用切断模。

1. 型材切断模

图1-31a所示为某种型材的断面尺寸；图1-31b所示为型材凹模洞口尺寸，其制造偏差为±0.02mm,表面粗糙度值为 Ra 0.8μm；图1-32所示为切断模，改变凹模洞口的尺寸和形状，可适应各种型材的切断。冲模具有和型材形状相同的固定凹模5和活动凹模6，静止状态下固定凹模和活动凹模同位，为了放入型材时保持通畅，活动凹模6和固定凹模5的型孔比型材各部分尺寸约大0.3~0.6mm。冲裁时，将型材放置于固定凹模6和活动凹模5中，靠定位块13控制切断型材的长度，借助压力机滑块下行，模柄7推动活动凹模5和固定凹模6相互冲压，将型材切断。

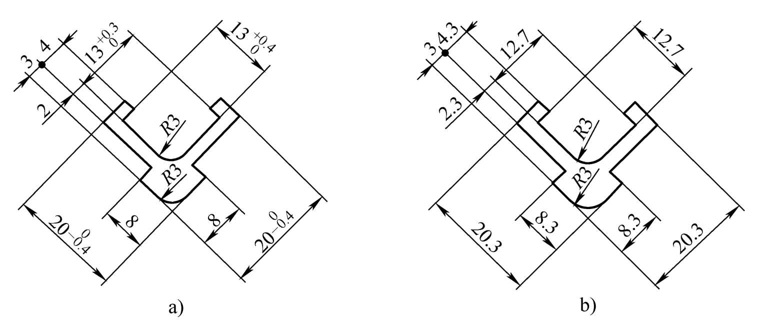


图1-31　型材切断

a）型材断面尺寸　b）凹模洞口尺寸

2. 棒料切断模

图1-33所示为棒料切断模，适用于切断较短的棒料，固定凹模18紧固在支架19上，并由调整送料管20调整其左右位置，以达到合理的剪切间隙（特别是刃磨后）。活动凹模7紧固在滑块16内，滑块可以沿支架上、下滑动，平时被由弹簧螺钉17、支承板27、螺杆26、弹簧28、螺母29组成的弹顶器顶起，使两凹模对齐。棒料送入后，靠顶杆3挡料，同时推杆1与斜楔11的面接触，弹簧14被压缩，上模6下行时压住滑块16下行即进行切料。当滑块16被压至活动凹模7的洞口与支架19下面的通孔对齐时，弹簧14通过顶杆3便把切断的棒料弹出。随后滑块16由弹顶器复位。

3. 管料切断模

图1-34所示为管料切断模，组合凹模23由两对（四块）镶块组合而成，右半块用螺钉紧固在固定板17上，左半块用螺钉紧固在滑块8上，滑块8能在下模座1内左右滑动，靠两块导向板27导向，平时滑块8在弹簧6的作用下，使凹模少许张开，由套管7限位，以便管料准确送进。此冲模采用双圆弧凸模16和左右组合凹模切断管料。凸模由螺钉24、模板25紧固在固定板

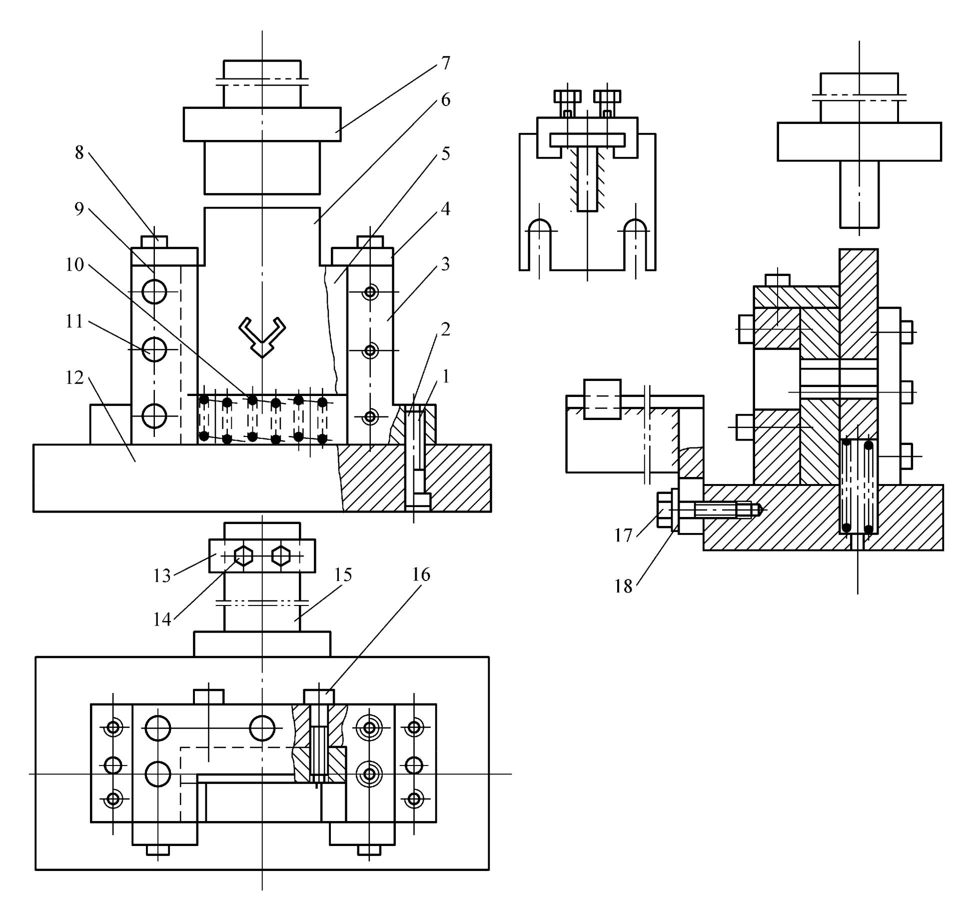


图 1-32　型材切断模

1、8、11、14、16、17—螺钉　2—销　3—支架　4—盖板　5—固定凹模　6—活动凹模
7—模柄　9—压板　10—弹簧　12—下模座　13—定位块　15—支架　18—垫圈

11 上。凸模如图 1-35 所示，组合凹模如图 1-36 所示。冲裁时，管料穿过凹模孔送进，由可调挡料块 29 定位，压力机滑块下行时，斜楔 9 将滑块 8 向右推移，两对组合凹模 23 将管料夹紧，压力机滑块 8 继续下行，凸模 16 便将管材逐渐切割，直至完全切断为止，切断废料从孔中漏下。

切割时，由于管子上端稍有压凹，因此凹模要做成微桃形，以减小管子的压凹现象。凸模尖端常做成宽 2mm，张角为 30°的尖刃，后面则做成曲线形，该曲线形状要考虑尽量使切屑向外形成以减小压凹，凸模应有足够的强度，易于磨削加工。

采用切管模切断管子效率高，但断口质量欠佳，铣床切断、车床切断、砂轮切断的切断面质量稳定，但生产率低。

四、修边模

切去成形制件多余的边缘材料的冲模叫修边模。

拉深件及冷挤压件一般周边都不平齐，为了使周边平整美观及达到制件所需的高度，必须采用辅助工序修边。采用冲模修边比机械切削加工效率高，而且修边后制件不变形，表面平整、光洁、高度一致。

1. 小型方形或矩形件修边模

图 1-37 所示为小型矩形件修边模，修边模的凹模 5 置于顶柱 4 上，顶柱 4 与导套 2 成 H8/h8 配合，做上下垂直运动。制件置于凹模 5 内，由顶件块 7 和弹簧 19 托住。为防止制件变形，制

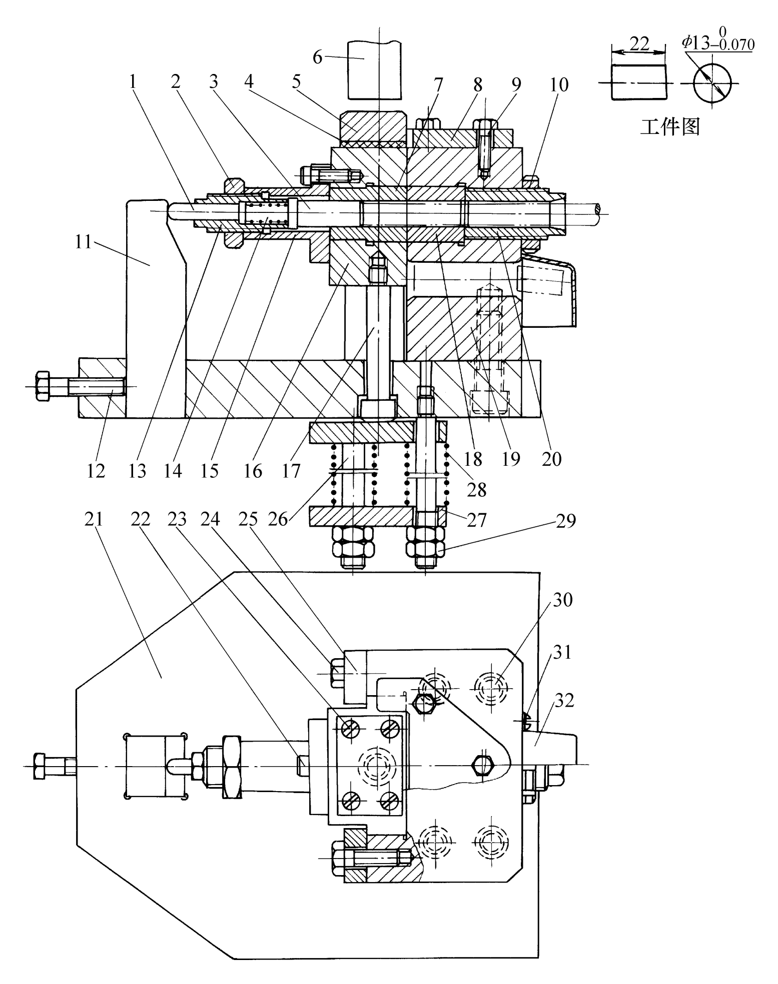


图 1-33　棒料切断模

1—推杆　2、10、29—螺母　3—顶杆　4—橡胶　5—垫板　6—上模　7—活动凹模　8—盖板
9、12、22、23、24、30、31—螺钉　11—斜楔　13—调整套　14、28—弹簧　15—套管
16—滑块　17—弹簧螺钉　18—固定凹模　19—支架　20—送料管　21—下模座　25—压板
26—螺杆　27—支承板　32—防护罩

件内装有定位芯 18，定位芯 18 与制件内型按 H7/h7 配合，其高度与制件所需高度相同。上模的四根限位柱 17 用于控制凸模 15 的下平面与凹模 5 的上平面之间的间隙，其间隙值取 0. 05mm。

（1）工作原理　修边模中的凹模 5 除相对凸模 15 做垂直运动外，还在左导板 21 和右导板 3，前导板 29 和后导板 28 的作用下，在水平方向上做相对应的三个方向移动，切去制件的周边，如图 1-38 所示。

当凹模下降向左和向前移动时，切除图 1-38d 所示的 *A*、*B*、*C* 边。

当凹模继续下降向右移动时，切除图 1-38e 所示的 *A*、*D* 边。

当凹模再继续下降向后移动时，切除图 1-38f 所示的 *D*、*E* 边。

当凹模下降到最后位置，向左移动时，切除图 1-38g 所示的 *E*、*C* 边，此时制件的全部周边均被切除。

凹模下降沿左右、前后导板移动时的修边情况如图 1-39 所示。

（2）凹模的设计

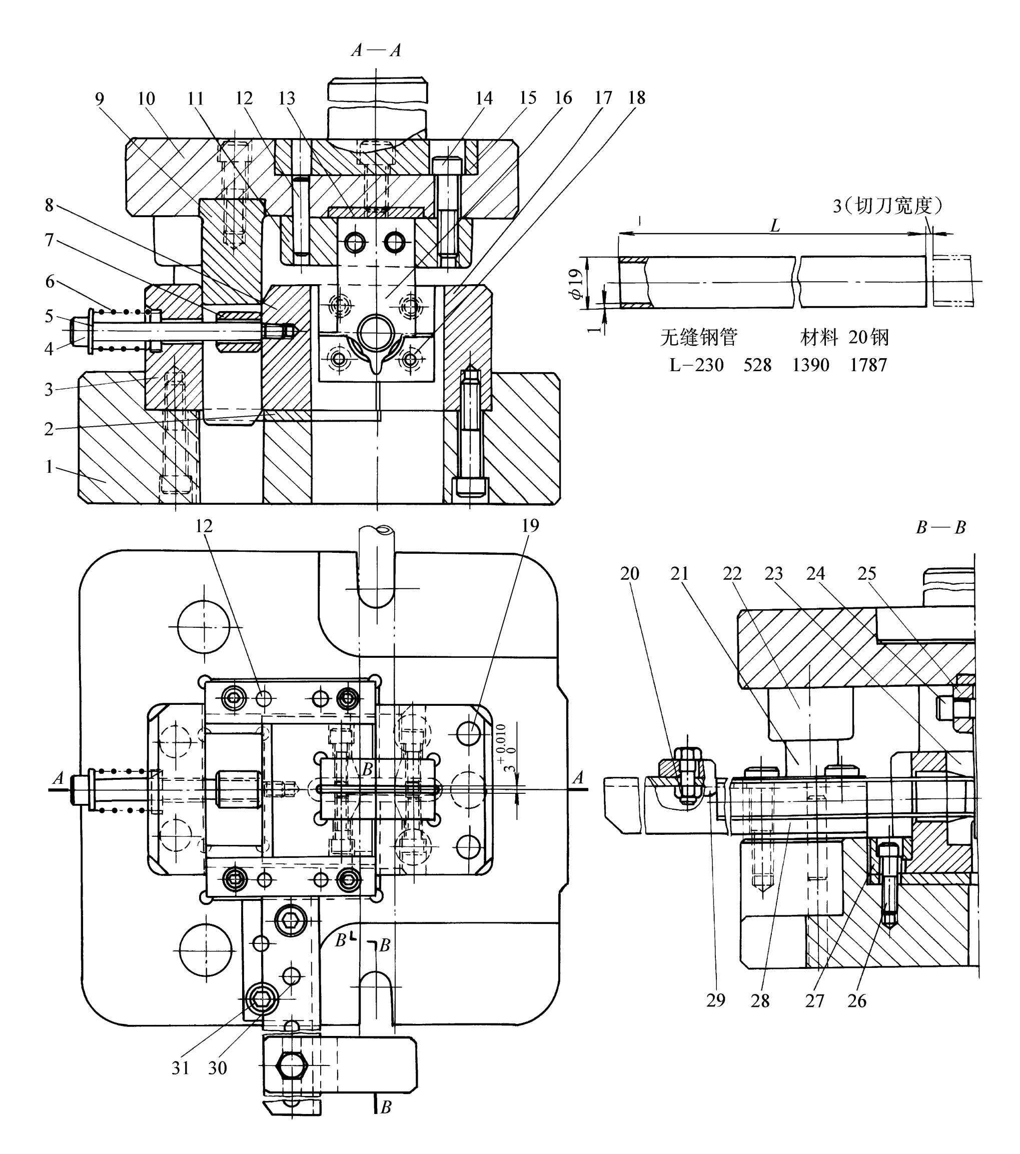


图 1-34　管料切断模

1—下模座　2、13—垫板　3—侧压板　4—卸料螺钉　5—垫圈　6—弹簧　7—套管　8—滑块
9—斜楔　10—上模座　11—固定板　12、19、30—销　14、18、24、26、31—螺钉
15—模柄　16—凸模　17—固定板　20—螺母　21—导柱　22—导套　23—组合凹模
25—压板　27—导向板　28—支架　29—挡料块

1）凹模移动量的设计。图 1-40 所示为拉深件，凹模可在 x、y 水平方向移动，分四次将制件的边切除。凹模移动量是否达到要求，可用两张图样验证，即一张图样上画出凸模图，另一张图样上画出拉深件图，将两张图样叠在一起，做相对移动，如图 1-38 所示。几次移动下来，就可判断拉深件各边是否被全部切除。从图 1-38 可知，凹模左右、前后各移动 3mm，即可把拉深件的周边全部切除。

2）凹模运动斜度的设计。凹模的运动斜度如图 1-41 所示，凹模运动斜度越大，阻力也越大，不易使凹模向下运动。若斜度太小，则凹模垂直方向的运动距离必须加大，才能获得水平方向移动的距离，即增加了左右、前后导板的高度，增加了冲模的闭合高度。侧面斜度 α 一般选 30°。

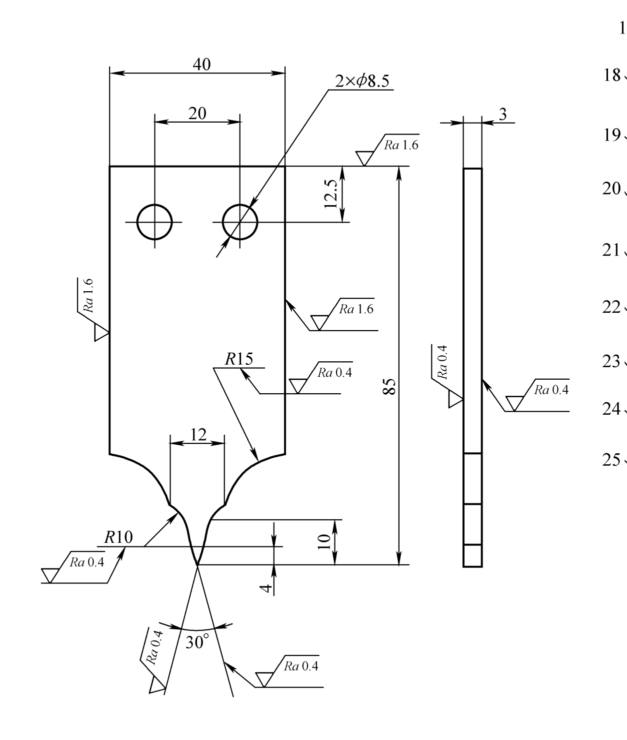
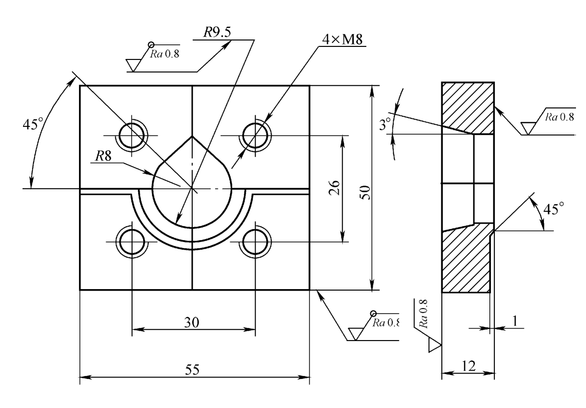


图1-35　凸模



材料：CrWMn，硬度为58～62HRC。

图1-36　组合凹模

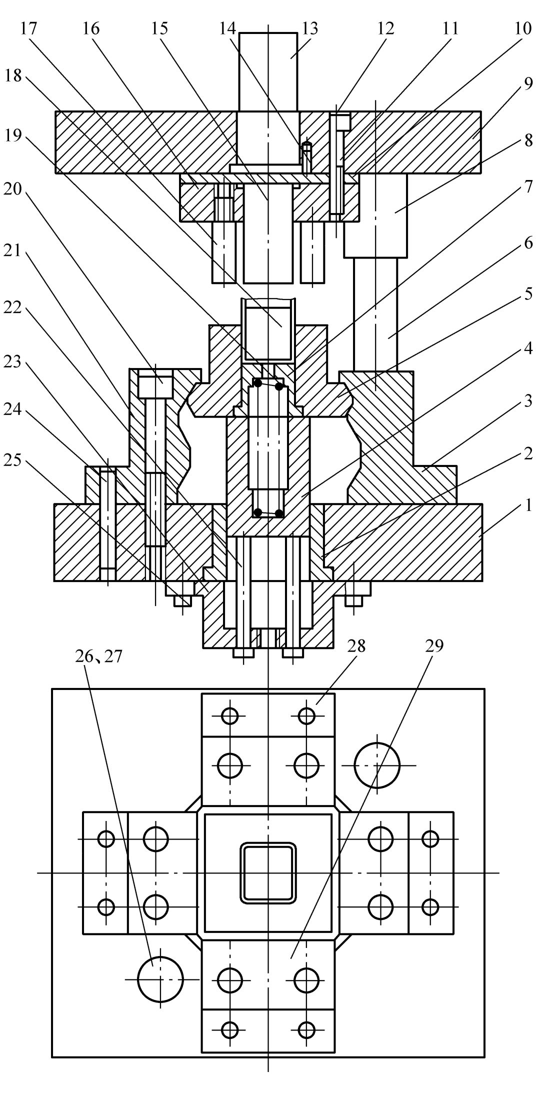


图1-37　修边模

1—下模座　2、8、26—导套　3—右导板　4—顶柱　5—凹模　6、27—导柱　7—顶件块　9—上模座　10—垫板　11、20、25—螺钉　12、14、24—销　13—模柄　15—凸模　16—固定板　17—限位柱　18—定位芯　19—弹簧　21—左导板　22—弹压螺钉　23—支承板　28—后导板　29—前导板

3）凹模斜面部分高度的设计。凹模的斜面高度 H 如图1-42所示，凹模的斜面部分与导板和导板斜面部分相配合，而导板的斜面高度与每一阶段凹模的移动量 x、y 有关。

$$
\begin{aligned}
H &= 2x\cot 30° + 2y\cot 30° \\
&= 2\times 3\text{mm}\times 1.732 + 2\times 3\text{mm}\times 1.732 \\
&= 20.8\text{mm}
\end{aligned}
$$

取整数，$H = 20\text{mm}$。

4）凹模结构及尺寸参数。凹模如图1-43所示，凹模内形和制件外形的配合在H7/h7和H8/h8之间，一般采用配作。

a)　b)　c)

d)　e)　f)　g)

图 1-38　修边运动示意图

图 1-39　修边凹模运动情况

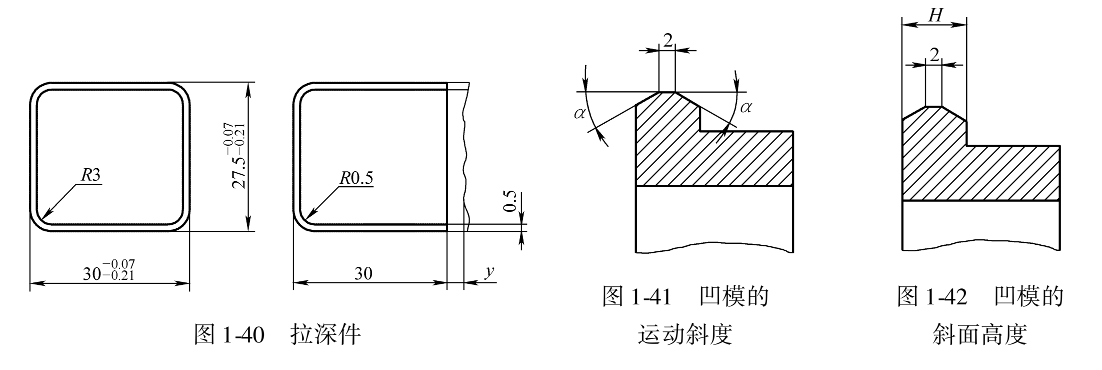


图 1-40　拉深件

图 1-41　凹模的运动斜度

图 1-42　凹模的斜面高度

（3）定位芯的设计　定位芯如图 1-44 所示，定位芯外形和制件内形的配合在 H7/h7 和 H8/h8之间，一般采用配作。

（4）导板的设计　导板设计见表 1-1 ~ 表 1-4，导板零件图如图 1-45 ~ 图 1-48 所示。

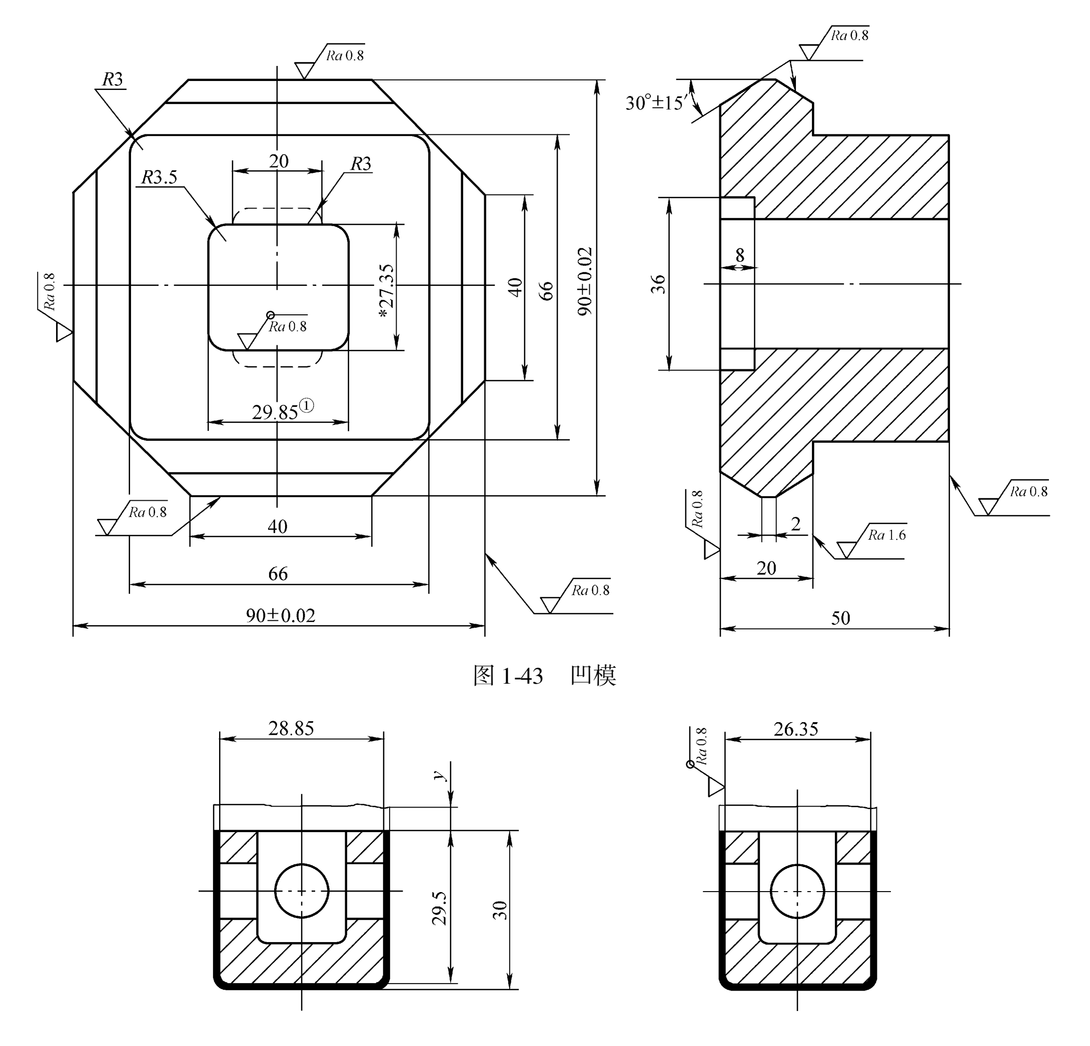


图 1-43 凹模

图 1-44 定位芯

（5）凸模的设计 凸模如图 1-49 所示，凸模和制件内形配合在 H7/h7 和 H8/h8 之间，一般采用配作。

（6）其他零件的设计 其他零件的设计如图 1-50 ~ 图 1-56 所示。

2. 大型方形或矩形件修边模

图 1-57 所示为矩形件胀切式修边模，该冲模是由四块凸模拼块向四周外胀开的运动来完成矩形拉深件修边工作的。

修边分两个阶段完成，将待修边的拉深件放在凹模 13 内，由弹顶器支承的顶板 12 将拉深件顶至适当位置。当压力机滑块下降时，定位板 11 进入拉深件内形中，并将顶板 12 压下，限位柱 5 与凹模 13 的平面接触，以控制凸凹模之间的间隙。滑块继续下降，导向板 9 压紧橡胶 14 使斜楔 1、7、8 下降，斜楔 7、8 的高度大于斜楔 1 的高度，如图 1-57 所示。因此斜楔 7、8 端部的斜面先接触凸模拼块 2、4 的斜面，把凸模拼块 2、4 沿 y-y 轴向外胀开（图 1-58a），冲切拉深件前后两边。压力机滑块再继续下行，斜楔 7、8 的斜面与凸模拼块 2、4 脱离接触，凸模拼块一侧面已靠紧导向板 6。当斜楔 1 与凸模拼块 2、4 端部的斜面接触时，凸模拼块 2、4 沿导向板 6 即沿 x-x 轴向外胀开（图 1-58b），冲切拉深件左右两边。

表 1-1　左导板设计

导板曲线图	所求线段	设计方法
	ab	①　*ab* 斜线倾斜角 30°和凹模底面斜角相配合 *ab* 斜线在水平面上的投影长度 = 凹模底面斜度水平投影长度 + 凹模向左移动量 $=9\text{mm}\times\tan30°+3\text{mm}=8.2\text{mm}$ ②　*ab* 斜线在垂直平面上的投影高度 = 凹模底面斜度高度 + 凹模向左移动量 × cot30° $=9\text{mm}+3\text{mm}\times1.732$ $=14.2\text{mm}$
	bc	③　*bc* 线段高度 = 3 倍的凹模斜面直边厚度 + 0.2 $=3\times2\text{mm}+0.2\text{mm}$ $=6.2\text{mm}$
	cd	④　*cd* 斜线倾斜角 30°和凹模底面斜角相配合 *cd* 斜线在水平面上投影长度 = 凹模向右移动量 $=3\text{mm}+3\text{mm}=6\text{mm}$ ⑤　*cd* 斜线在垂直平面上的投影高度 $=6\text{mm}\times\cot30°$ $=10.4\text{mm}$
	de	⑥　*de* 线段高度 = 凹模由前向后移动 6mm 时的垂直下降行程 $=6\text{mm}\times\cot30°$ $=6\text{mm}\times1.732$ $=10.4\text{mm}$
	ef	⑦　*ef* 斜线倾斜角 30°和凹模底面斜角相配合 *ef* 斜线在水平面上的投影长度 = 凹模从右向左移动量 $=3\text{mm}+3\text{mm}=6\text{mm}$ *ef* 斜线在垂直平面上投影高度 $=6\text{mm}\times\cot30°$ $=6\text{mm}\times1.732$ $=10.4\text{mm}$
	fg	⑧　*fg* 线段高度 = 1/2 凹模底部厚度 + 1/2 凹模斜面直边厚度 + 0.4 $=\frac{1}{2}\times20\text{mm}+\frac{1}{2}\times2\text{mm}+0.4\text{mm}=11.4\text{mm}$
	ag	⑨　*ag* 垂线高度 = 左导板各线段直线高度之和 $ag=ad+bc+cd+de+ef+fg$ $=14.2\text{mm}+6.2\text{mm}+10.4\text{mm}+10.4\text{mm}+10.4\text{mm}+11.4\text{mm}$ $=63\text{mm}$

表 1-2　右导板设计

导板曲线图	所求线段	设计方法
	ab	①　*ab* 斜线倾斜角 30°和凹模底面斜角相配合 *ab* 斜线在垂直平面上的投影高度 = 凹模底面斜面斜线高度 + 1/2 × 0.2 = 9mm + 0.1mm = 9.1mm
	bc	②　*bc* 直线高度 = 凹模斜面直边厚度 − 0.2 = 2mm − 0.2mm = 1.8mm 以上两目的是使凹模和导板斜面靠紧
	cd	③　*cd* 斜线倾斜角 30°和凹模底面斜角相配合 *cd* 斜线在水平面上的投影长度 = 凹模向左移动量 + 0.1 × tan30° = 3 + 0.1mm × 0.577 = 3.06mm *cd* 斜线在垂直平面投影高度 = 3.06 × cot30° = 5.3mm
	de	④　*de* 线段高度 = 凹模斜面直边厚度 + 0.2 = 2mm + 0.2mm = 2.2mm
	ef	⑤　*ef* 斜线倾斜角 30°和凹模底面斜角相配合 *ef* 斜线在水平面上的投影长度 = 凹模从左向右移动量 = 3mm + 3mm = 6mm ⑥　*ef* 斜线在垂直平面投影高度 = 6 × cot30° = 6mm × 1.732 = 10.4mm
	fg	⑦　*fg* 线段高度 = 左导板 *de* 线段高度 + 2 倍凹模斜面直边厚度 = 10.4mm + 2 × 2mm = 14.4mm
	gh	⑧　*gh* 斜线倾角 30°和凹模底面斜角相配合 *gh* 斜线在水平面上投影长度 = 凹模从右至左移动量 = 3mm + 3mm = 6mm ⑨　*gh* 斜线在垂直平面上投影高度 = 6 × cot30° = 10.4mm
	hi	⑩　*hi* 线段高度 = 1/2 凹模厚度 − 1/2 凹模斜面直边厚度 + 0.4 $= \frac{1}{2} \times 20\text{mm} - \frac{1}{2} \times 2\text{mm} + 0.4\text{mm}$ = 9.4mm
	ai	⑪　*ai* 垂线高度 = 右导板各线段直线高度之和 $ai = ab + bc + cd + de + ef + fg + gh + hi$ = 9.1mm + 1.8mm + 5.3mm + 2.2mm + 10.4mm + 14.4mm + 10.4mm + 9.4mm = 63mm

表 1-3　前导板设计

导板曲线图	所求线段	设计方法
前导板	*ab*	①　*ab* 斜线倾斜角 30°和凹模底面斜角相配合 *ab* 斜线在水平面上的投影长度 = 凹模底面斜面水平投影长度 + 凹模向前移动量 $= 9 \times \cot 30° + 3$ $= 9\text{mm} \times 0.577 + 3\text{mm}$ $= 8.2\text{mm}$ *ab* 斜线在垂直平面上的投影高度 = 凹模底面斜度垂直高度 + 凹模向前移动量 × cot30° $= 9\text{mm} + 3\text{mm} \times 1.732$ $= 14.2\text{mm}$
	bc	②　*bc* 直线高度 = 左导板的（*bc* 直线高度 + *cd* 在垂直平面上投影高度）直线高度 + 凹模斜端面直边高度 $= 6.2\text{mm} + 10.4\text{mm} + 2\text{mm}$ $= 18.6\text{mm}$
	cd	③　*cd* 斜线倾斜角和凹模底面斜角相配合 *cd* 斜线在水平面上的投影长度 = 凹模由前向后移动量 $= 3\text{mm} + 3\text{mm} = 6\text{mm}$ *cd* 斜线在垂直平面上的投影高度 $= 6 \times \cot 30°$ $= 6\text{mm} \times 1.732$ $= 10.4\text{mm}$
	de	④　*de* 线段高度 = 前导板各线段垂直总高度 − 前导板的 *ad*、*bc*、*cd* 各线段垂直高度之和 $= 63\text{mm} - (14.2\text{mm} + 18.6\text{mm} + 10.4\text{mm})$ $= 19.8\text{mm}$

表 1-4　后导板设计

导板曲线图	所求线段	设计方法
后导板	*ab*	①　*ab* 斜线倾斜角 30°和凹模底面斜角相配合 *ab* 斜线在垂直平面上的投影高度 = 凹模底面斜面斜线垂直高度 + 1/2 × 0.2 $= 9\text{mm} + 0.1\text{mm} = 9.1\text{mm}$
	bc	②　*bc* 线段高度 = 凹模斜面直边厚度 − 0.2 $= 2\text{mm} - 0.2\text{mm} = 1.8\text{mm}$
	cd	③　*cd* 斜线倾斜角 30°和凹模底面斜角相配合 *cd* 斜线在水平面上的投影长度 = 凹模向前移动量 + 0.1 × tan30° $= 3\text{mm} + 0.1\text{mm} \times 0.577 = 3.06\text{mm}$ *cd* 斜线在垂直平面上的投影高度 $= 3.06 \times \cot 30°$ $= 3.06\text{mm} \times 1.732 = 5.3\text{mm}$
	de	④　*de* 线段高度 = 前导板 *bc* 线段高度 − 2 倍凹模斜面直边厚度 $= 18.6\text{mm} - 2 \times 2\text{mm} = 14.6\text{mm}$
	ef	⑤　*ef* 斜线倾角 30°和凹模底面斜角相配合 *ef* 斜线在水平面上的投影长度 = 凹模由后向前移动量 $= 3\text{mm} + 3\text{mm} = 6\text{mm}$ *ef* 斜线在垂直平面上的投影高度 $= 6 \times \cot 30° = 6\text{mm} \times 1.732 = 10.4\text{mm}$
	fg	⑥　*fg* 线段高度 = 后导板各线段垂直边高度之和 − 后导板的 *ab*、*bc*、*cd*、*de*、*ef* 各线段垂直高度 $= 63\text{mm} - (9.1\text{mm} + 1.8\text{mm} + 5.3\text{mm} + 14.6\text{mm} + 10.4\text{mm})$ $= 21.8\text{mm}$

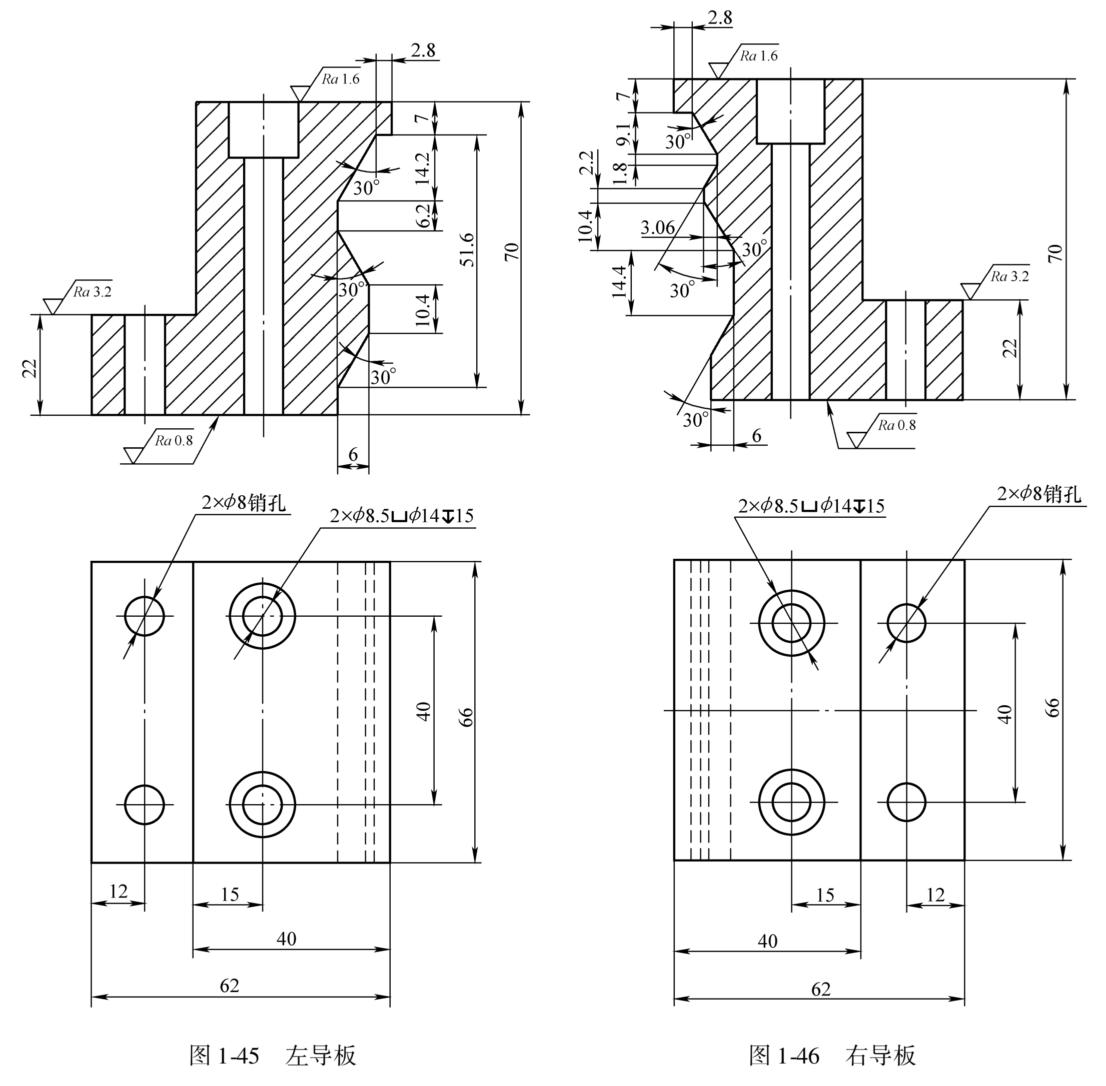


图 1-45　左导板　　　　图 1-46　右导板

压力机滑块上升时，凸模拼块 2、4 在拉簧 3 的作用下，回到原位置，拉深件被顶板 12 顶出。

3. 带凸缘拉深件修边模

图 1-59 所示为带凸缘拉深件及制件图。图 1-60 所示为带凸缘拉深件修边模，凹模 16 固定在上模座 13 上，凸模 3 固定在下模座 1 上，并在凸模旁对称布置废料切刀 2，切刀刃口应低于凸模刃口 3 ~ 5 倍材料厚度。工作时，将拉深件毛坯套在定位块 17 上，当压力机滑块下行时，凸模伸入凹模洞口进行修边，同时废料切刀将最下面废料一分为二，便于清除，为了保证在不使用时不损伤废料切刀刃口，在导柱上装两对限位套 4、5。冲压时，限位块凸、凹配对，不使用时，限位套凸、凸配对。

五、剖切模

沿不封闭轮廓将半成品制件切离为两个或数个制件的冲模叫剖切模。

图 1-61 所示为制件图和拉深件毛坯被剖切的情况，图 1-62 所示为将拉深件切成所需制件的剖切模。剖切时，要对拉深件的底部及侧壁分离（即对水平、垂直两个方向的材料分离），但凸模 15、16 只做上、下往复运动，所以凸模刃口要有一定斜度，才能使材料分离时制件不致变形。凸凹模都采用镶拼式结构，制造方便简单。

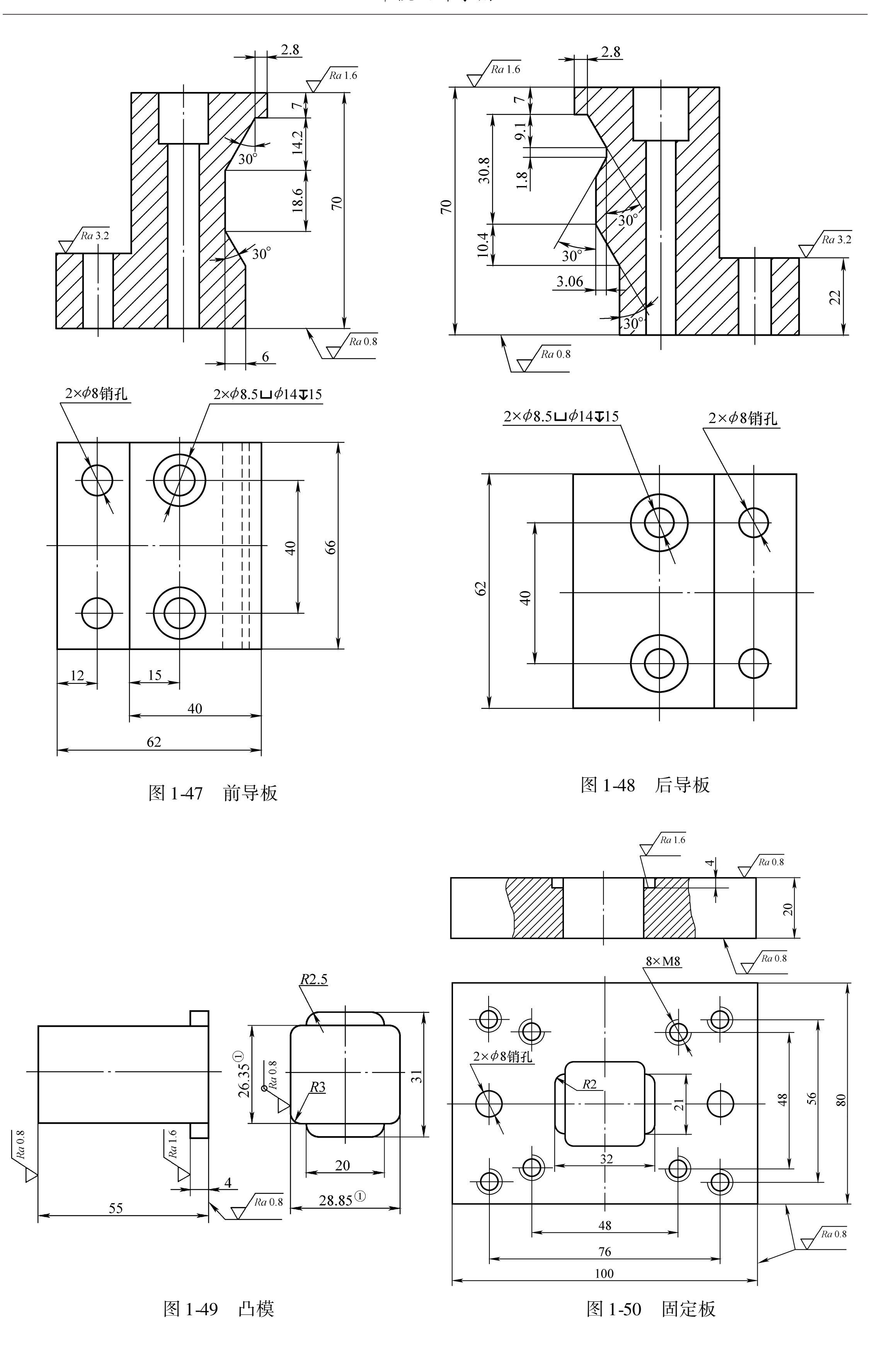


图 1-47　前导板

图 1-48　后导板

图 1-49　凸模

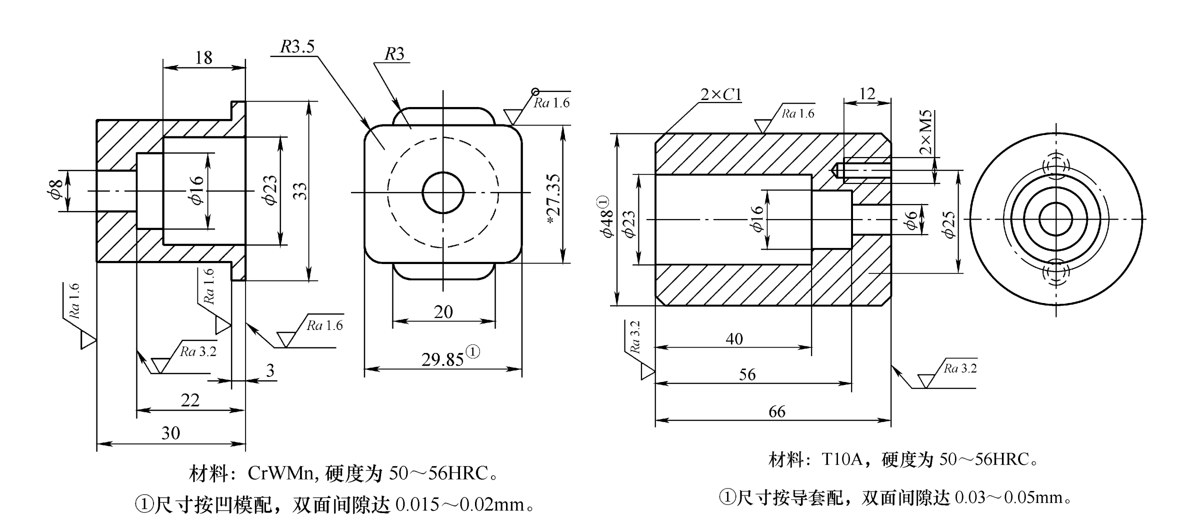
图 1-50　固定板

材料：Q235。
①尺寸按导套配，过盈量达 0.025～0.035mm。
②尺寸按模柄配，过盈量小于 0.015mm。

图 1-51　上模座

材料：Q235。
①尺寸按导柱配，过盈量达 0.02～0.03mm。
孔位和上模座一致

图 1-52　下模座

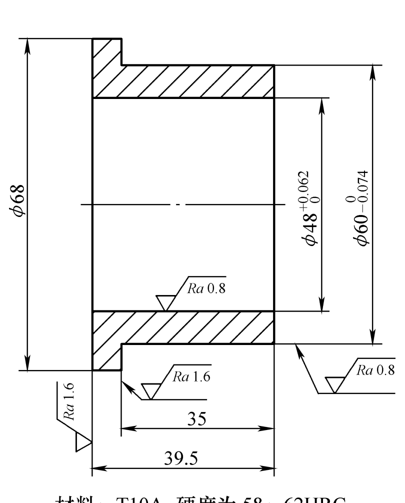


材料：CrWMn，硬度为 50～56HRC。
①尺寸按凹模配，双面间隙达 0.015～0.02mm。

图 1-53　顶件块

材料：T10A，硬度为 50～56HRC。
①尺寸按导套配，双面间隙达 0.03～0.05mm。

图 1-54　顶柱



材料：T10A, 硬度为 58～62HRC。
锐边倒角 R0.5～R1.5mm。



图 1-55　导套

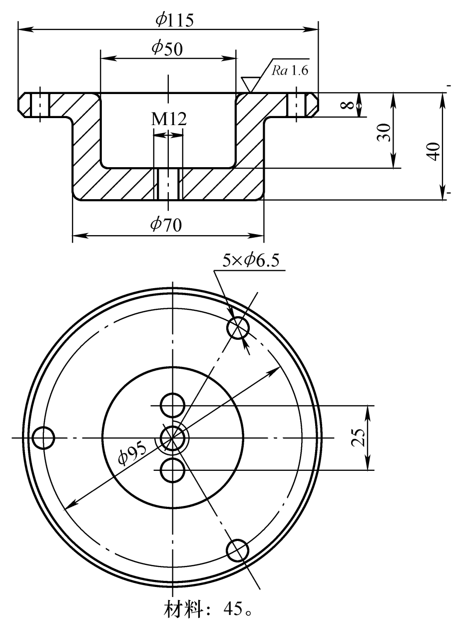


图 1-56　支承板

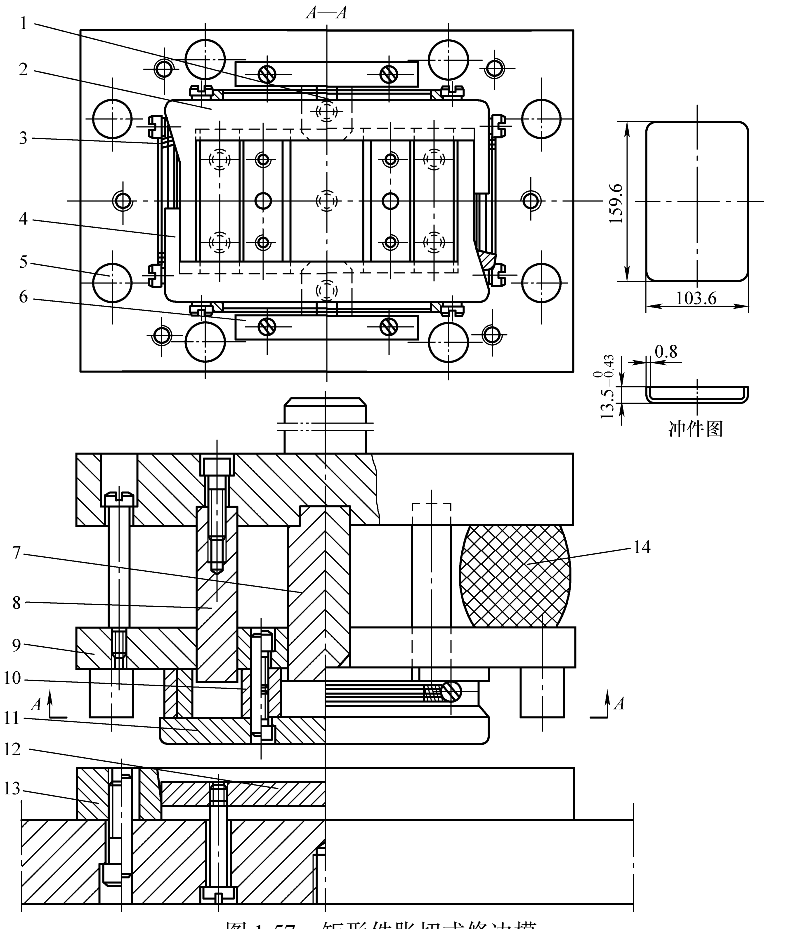
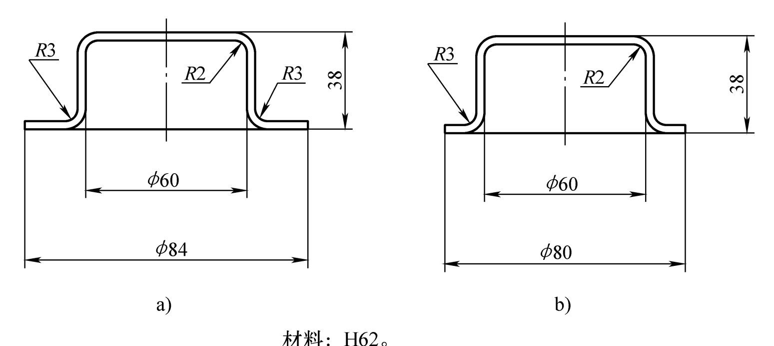


图 1-57　矩形件胀切式修边模

1、7、8—斜楔　2、4—凸模拼块　3—拉簧　5—限位柱　6、9—导向板
10—定位块　11—定位板　12—顶板　13—凹模　14—橡胶

图 1-58　修边过程
a）第一阶段　b）第二阶段



材料：H62。
厚度：1.2mm。

图 1-59　带凸缘拉深件及制件图

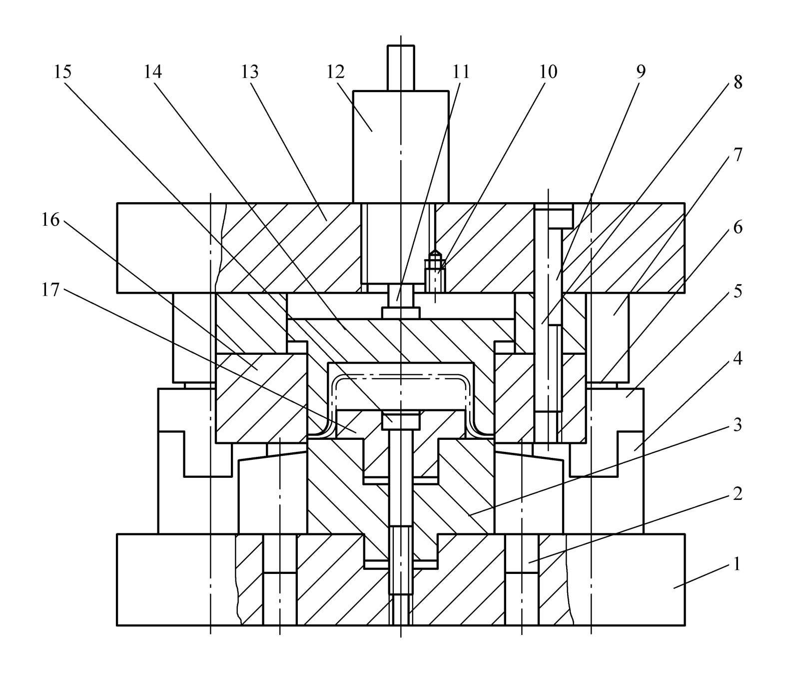


图 1-60　带凸缘拉深件修边模

1—下模座　2—废料切刀　3—凸模　4、5—限位套　6—导柱　7—导套
8—销　9、10、15—螺钉　10—螺钉　11—打杆　12—模柄　13—上模座
14—推件块　16—凹模　17—定位块

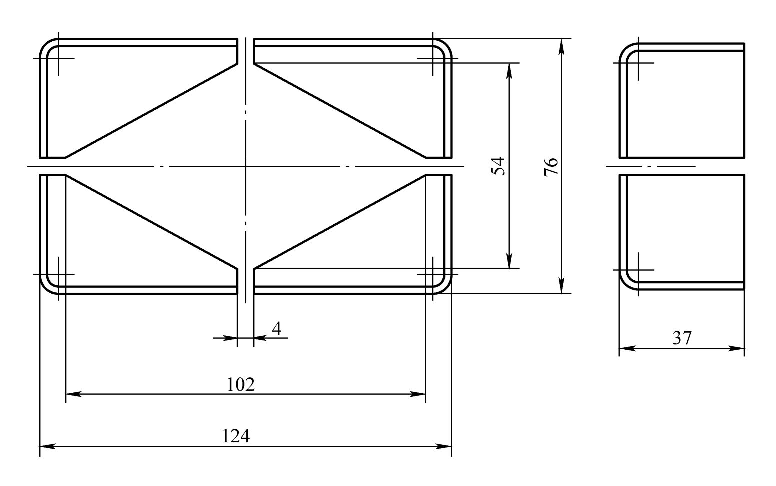


图 1-61　制件图和拉深件毛坯被剖切的情况

六、复合模

在压力机的一次行程中，同时完成两道或两道以上的冲压工序的单工位冲模叫复合模。

复合模根据落料凹模所装位置的不同，分为倒装复合模和顺（正）装复合模。倒装复合模落料凹模装在上模，顺装复合模落料凹模装在下模。复合模在结构上的主要特征是有一个既是落料凸模又是冲孔凹模的凸凹模。

复合模冲裁时不受送料误差的影响，因而制件的尺寸精度和几何形状精度都很高，且制件表面平整，模具结构紧凑，体积较小，适宜冲薄料。

1. 倒装复合模

图 1-63 所示为制件图，图 1-64 所示为排样图，图 1-65 所示为该制件的倒装复合模。冲裁时，由两个活动导料销 32 控制条料送料方向，活动挡料销 30 控制送料进距。当压力机滑块带动上模下行时，当做落料凸模 31 和凹模 23 落料，同时当做冲孔凹模 31 和凸模 8 进行冲孔，即在压力机一次行程中，同时完成落料和冲孔工序。为了将制件从凹模及凸模中推出，由推件块 25、螺钉 24、托板 22、连接推杆 17、推板 10、打杆 13 组成的推件装置来完成。冲孔废料从冲孔凹模洞口漏下。箍在凸凹模 31 上的条料由卸料板 6、卸料螺钉 5、橡胶 4 组成的装在下模的卸料装置完成。

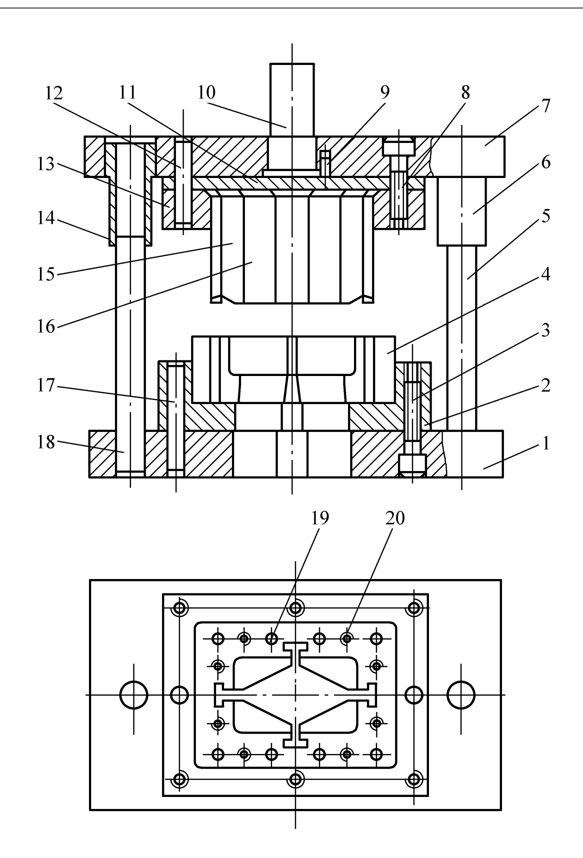


图 1-62　剖切模

1—下模座　2—凹模固定板　3、8、20—螺钉　4—凹模　5、18—导柱　6、14—导套　7—上模座　9、12、17、19—销　10—模柄　11—垫板　13—凸模固定板　15、16—凸模

倒装复合模冲孔废料直接从压力机工作台当中的孔落下，制件从凹模及凸模中推出后落在下模上，可用工具取走，有气源的车间，可用压缩空气吹件，因此操作比较安全方便。倒装复合模的模具结构比顺装复合模简单，生产率比顺装复合模高，所以一般情况下尽可能采用倒装复合模。倒装复合模主要零件如图 1-66 ~图 1-75 所示。

2. 顺装复合模

当制件的孔边距较小，且精度较高时需采用小间隙冲裁时，冲裁后的冲孔废料由于弹性回复将紧紧地堵塞在凹模洞口内，很容易把凹模洞口胀裂，所以必须采用顺装复合模。

图 1-76 所示为冲制垫片的顺装复合模，落料凹模 7、中垫板 6、凸模固定板 5、垫板 32 用螺钉 31 和销 4 紧固在下模座 1 上。凸凹模 26 通过凸凹模固定板 11、垫板 22 用螺钉 12 和销 13 紧固在上模座 10 上。

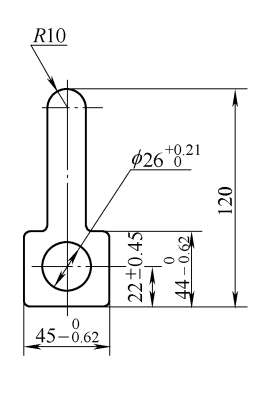


图 1-63　制件图

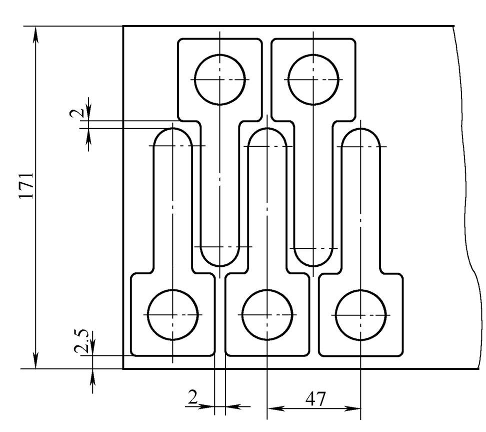


图 1-64　排样图

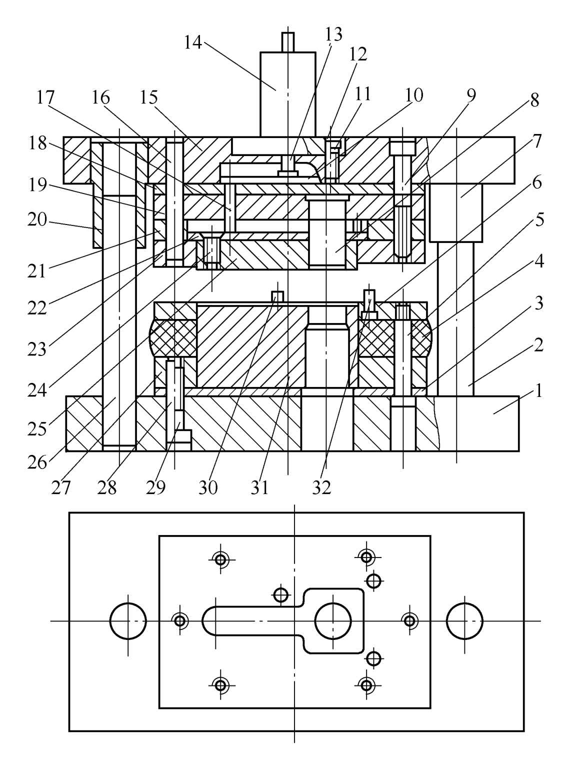
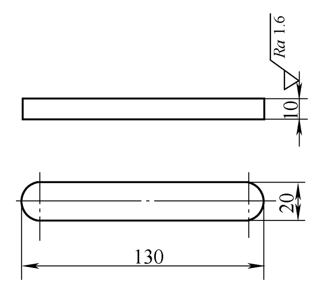


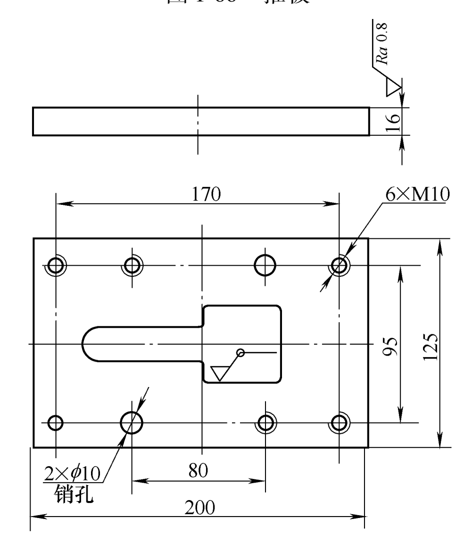
图 1-65　倒装复合模

1—下模座　2、26—导柱　3、18—垫板　4—橡胶
5—卸料螺钉　6—卸料板　7、20—导套　8—凸模
9、11、24、29—螺钉　10—推板　12、16、28—销
13—打杆　14—模柄　15—上模座　17—连接推杆
19、27—固定板　21—中垫板　22—托板　23—凹模
25—推件块　30—活动挡料销　31—凸凹模
32—活动导料销



材料：45 钢，硬度为 43～48HRC。

图 1-66　推板

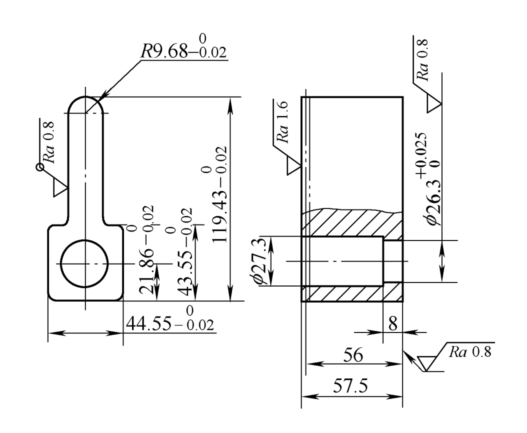


材料：CrWMn，硬度为 60～64HRC。

技术要求

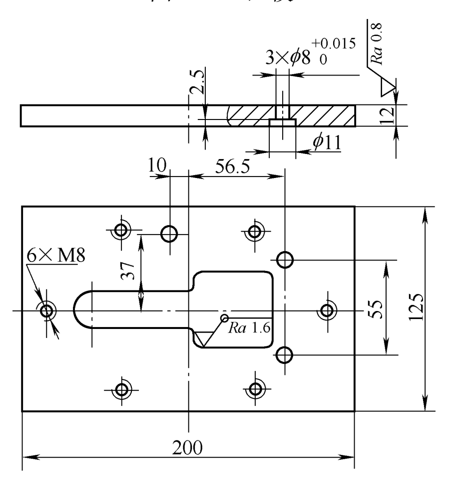
型孔按凸凹模配作，双面间隙达 0.14mm。

图 1-67　凹模



材料：CrWMn，硬度为 60～64HRC。

图 1-68　凸凹模

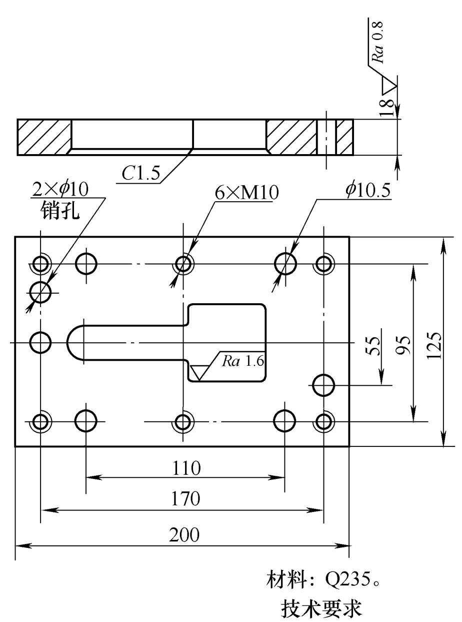


材料：45 钢。

技术要求

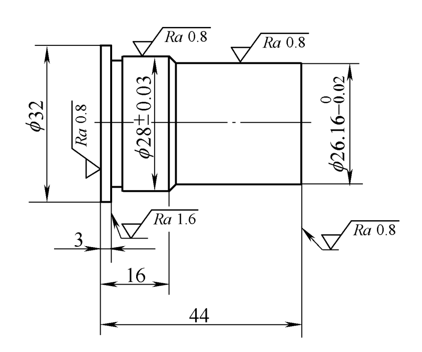
型孔按凸凹模配作，双面间隙小于 0.2mm。

图 1-69　卸料板



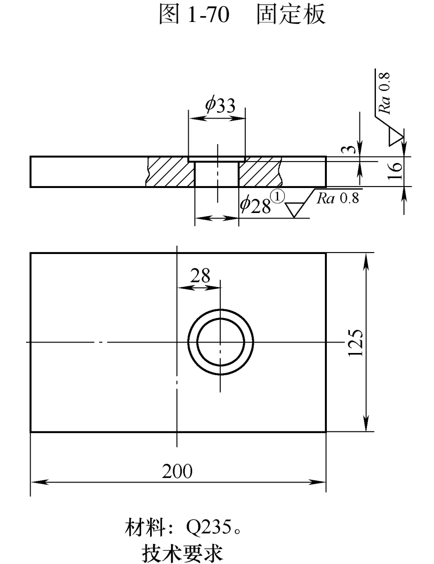
材料：Q235。
技术要求
型孔按凸凹模配作，过盈量小于 0.01mm。

图 1-70　固定板



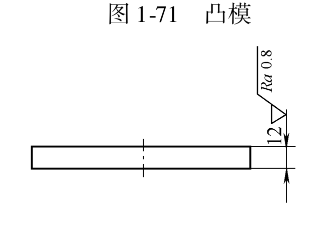
材料：CrWMn，硬度为 58～62HRC。

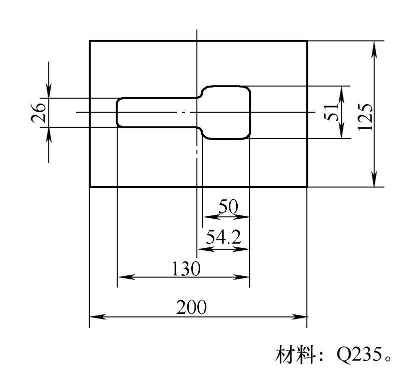
图 1-71　凸模



材料：Q235。
技术要求
螺钉孔和销钉孔为配作，可不标注。
① 尺寸按凸模配作，过盈量小于 0.01mm。

图 1-72　固定板





材料：Q235。

图 1-73　中垫板

冲裁时，由导料销（挡料销）27 导料和挡料，当压力机滑块带动上模下行时，当做落料凸模 26 和凹模 7 落料，同时当做冲孔凹模 26 和凸模 28、30 进行冲孔，即在压力机一次行程中，同时完成冲孔和落料工序。

为了将制件从凹模及凸模中顶出，在下模装弹顶装置，通过顶杆 2、顶件块 29 顶件装置完成。为了将冲孔废料从凸凹模 26 洞口中推出，在上模安装打杆 17、推板 18 和推件杆 19、20 组成的刚性推件装置完成。

为了使冲完的条料能方便地从凸凹模 26 上卸下，在上模还安装有弹压卸料板 9、卸料螺钉 21 及橡胶 25 组成的卸料装置。

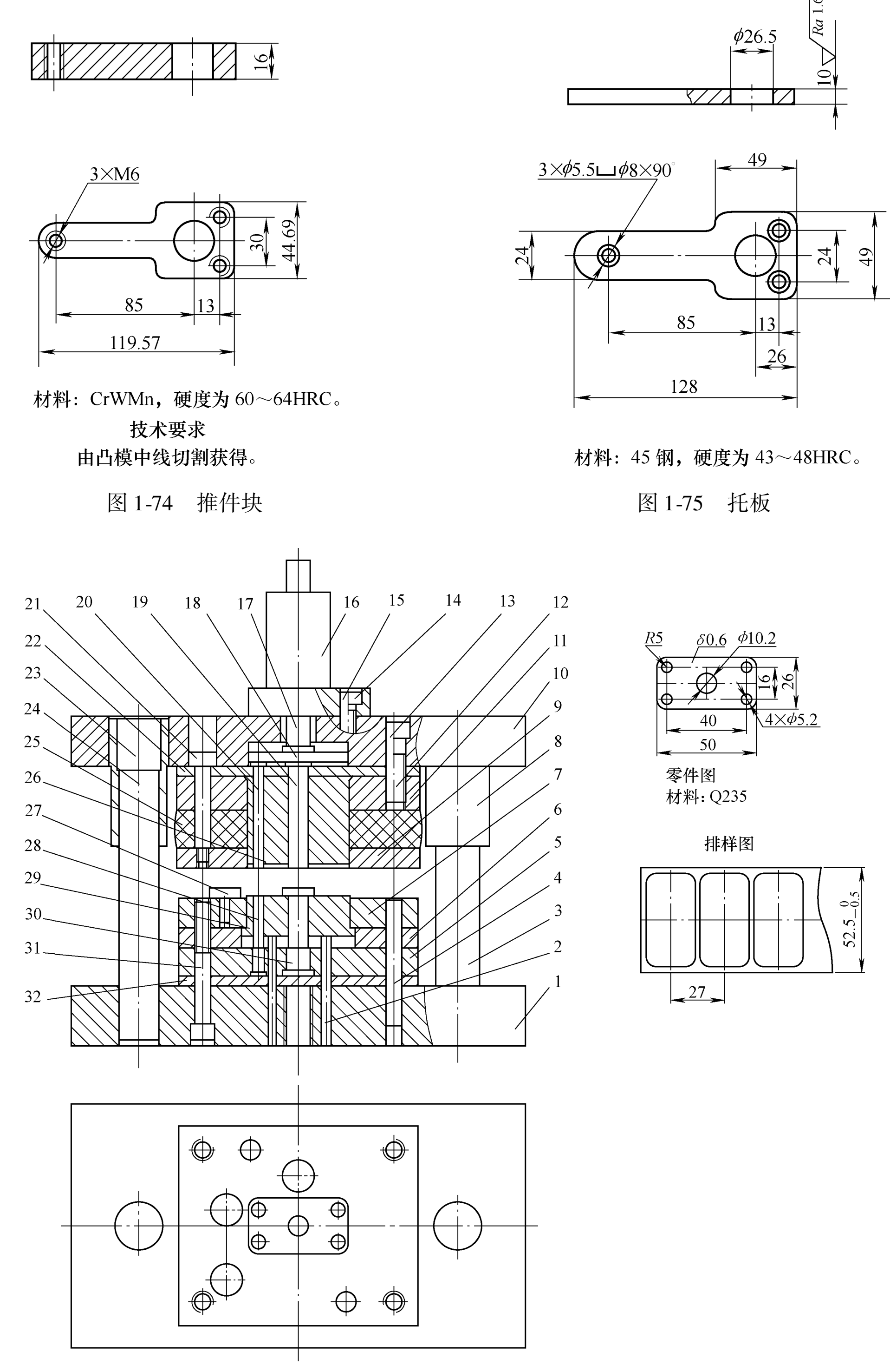


图 1-74　推件块

图 1-75　托板

图 1-76　顺装复合模

1—下模座　2—顶杆　3、24—导柱　4、13、15—销　5—凸模固定板　6—中垫板　7—凹模　8、23—导套　9—弹压卸料板　10—上模座　11—凸凹模固定板　12、14、31—螺钉　16—模柄　17—打杆　18—打板　19、20—推杆　21—卸料螺钉　22、32—垫板　25—橡胶　26—凸凹模　27—导料销（挡料销）　28、30—凸模　29—顶件块

顺装复合模由于冲孔废料能即时从凹模洞口推出，洞口内不积存废料，胀力小，不容胀裂凹模洞口，因而适宜冲孔边距较小的制件。顺装复合模是在条料压平状态下冲裁的，所以制件比倒装复合模冲裁平整，精度高。

顺装复合模由于制件和废料都落在凹模表面，尤其是当孔较多又较小时，清除制件和废料麻烦，稍有不慎清除不完，容易发生冲压事故，所以应尽可能采用倒装复合模。

七、级进模

在条料的送料方向上，具有两个以上工位，并在压力机的一次行程中，在不同工位上完成两道或两道以上的冲压工序的冲模叫级进模。

级进模常用的定距方法有三种，当工位较少时，采用挡料销定距；当工位较多或采用条料连续冲裁时采用侧刃定距；当采用卷料用自动送料装置送料冲裁时，常用自动送料装置粗定距，用导正销精定距。

1. 挡料销定距级进模

图 1-77 所示为采用挡料销定距的级进模，首次冲裁时，将条料紧靠长导料板向前送进，将条料送到落料凹模 3 洞口 1mm 左右，冲厚材料可增加始用挡料装置。当压力机滑块下行时，凸模 12 冲孔，凸模 17 冲一小缺口，以便下一次冲裁定位。第二次冲裁时，将缺口送至固定挡料销 23 处定距，以后各次冲裁可在不同工位同时完成冲孔和落料工作。

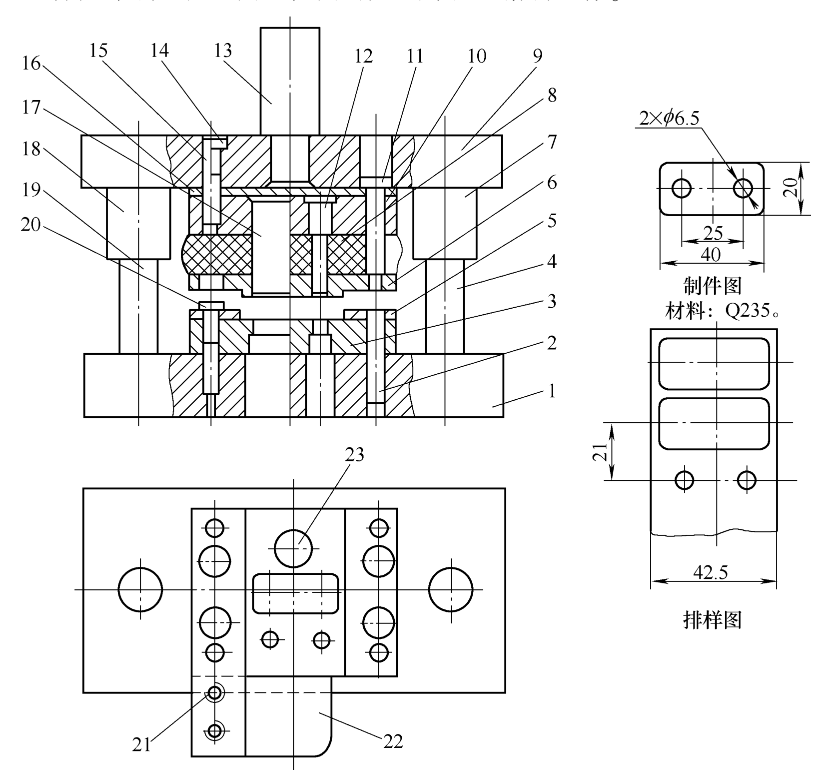
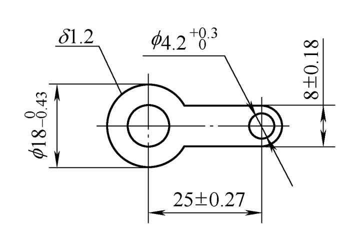


图 1-77　挡料销定距级进模

1—下模座　2、15—销　3—凹模　4、19—导柱　5—导料板　6—卸料板　7、18—导套　8—橡胶　9—上模座　10—凸模固定板　11—卸料螺钉　12、17—凸模　13—模柄　14、20、21—螺钉　16—垫板　22—承料板　23—挡料销

2. 侧刃定距级进模

图 1-78 所示为焊片制件图，图 1-79 所示为焊片排样图。图 1-80 所示为侧刃定距级进模，它




材料：H62。

图 1-78　焊片制件图

图 1-79　焊片排样图

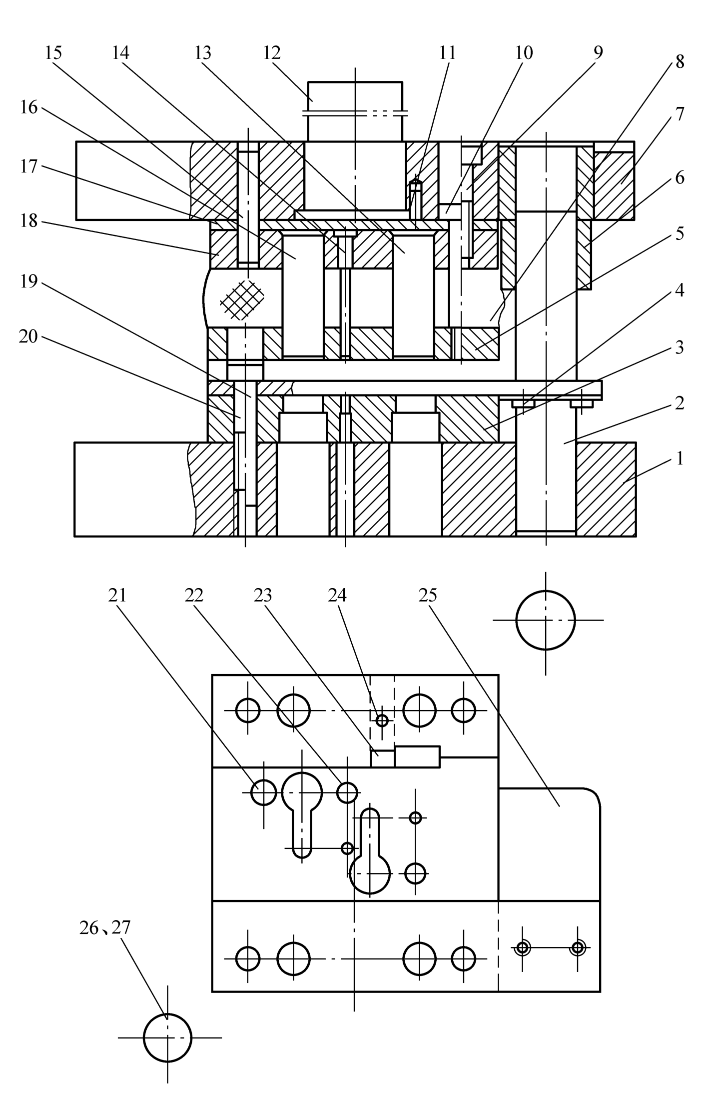


图 1-80　侧刃定距级进模

1—下模座　2、26—导柱　3—凹模　4、9、20—螺钉　5—卸料板　6、27—导套　7—上模座　8—橡胶　10—卸料螺钉　11、15、19、24—销　12—模柄　13—侧刃　14、16、22—凸模　17—垫板　18—固定板　21—挡料销　23—侧刃挡板　25—承料板

以侧刃 13 代替了挡料销控制条料送进距离（步距）。侧刃是特殊功用的凸模，其作用是在压力机每次冲压行程中，沿条料边缘切下一块长度等于送料进距的料边。在条料送进过程中，切下的缺口向前送进被侧刃挡板 23 挡住，送进的距离即等于进距。侧刃定距有采用单侧刃的，也有采用双侧刃的，两个侧刃前后沿对角排列。采用双侧刃的主要目的是减少条尾材料的损失。但侧刃切下的料本身就是废料，是材料损耗。是否采用双侧刃，要看第二个侧刃切去材料的面积是否小于所能利用的料尾材料的面积，如相差不多，可只采用单侧刃，为了充分利用料尾材料，再用挡料销 21 作为料尾冲压时定距用。要注意的是，当用侧刃定距时，挡料销不起定距作用。

图 1-81 ~ 图 1-87 所示为侧刃定距级进模的主要零件。

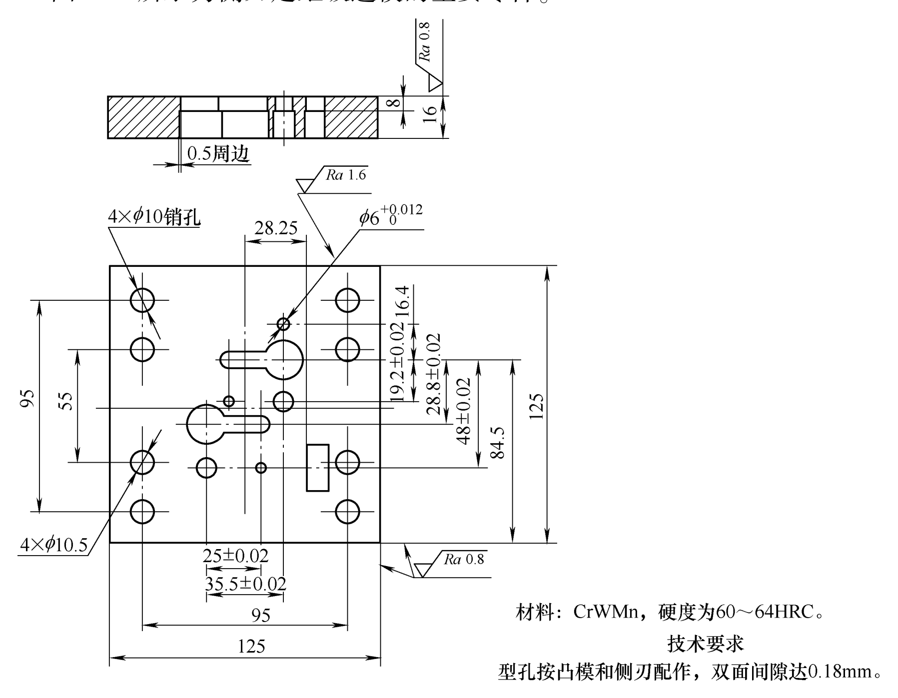


图 1-81　凹模

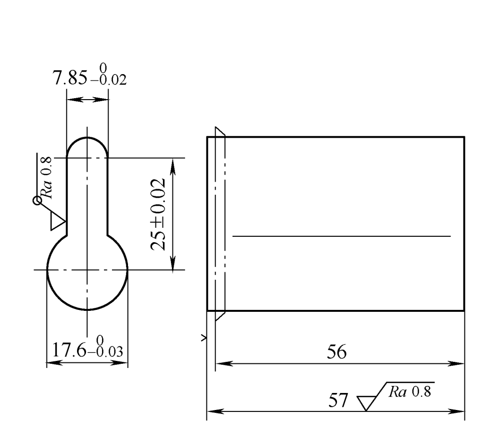
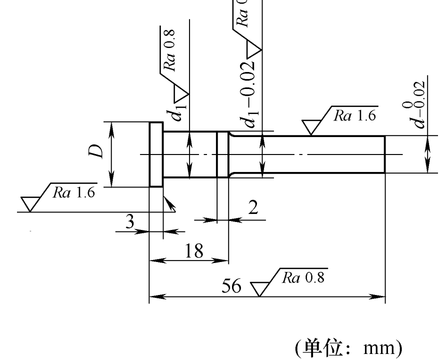


图 1-82　凸模

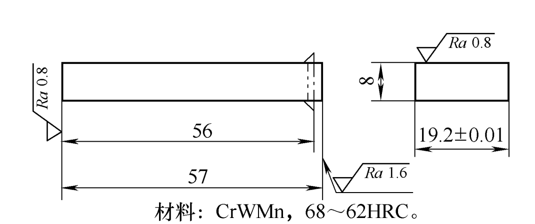


(单位：mm)

序号	d	d_1	D
1	4.4	6	10
2	8.5	10	14

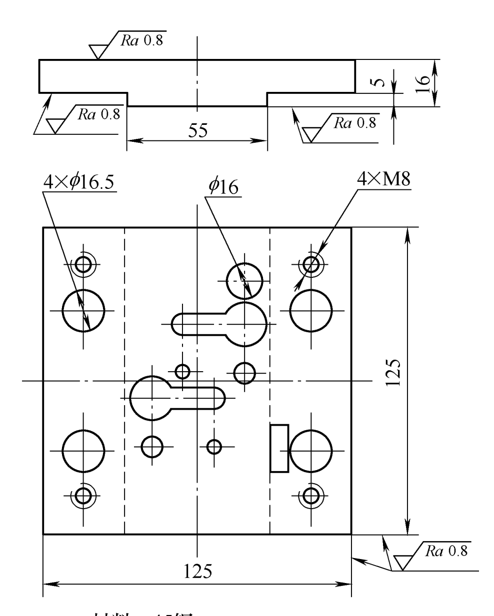
材料：CrWMn，硬度为58～62HRC。

图 1-83　凸模



材料：CrWMn，68～62HRC。

图 1-84　侧刃



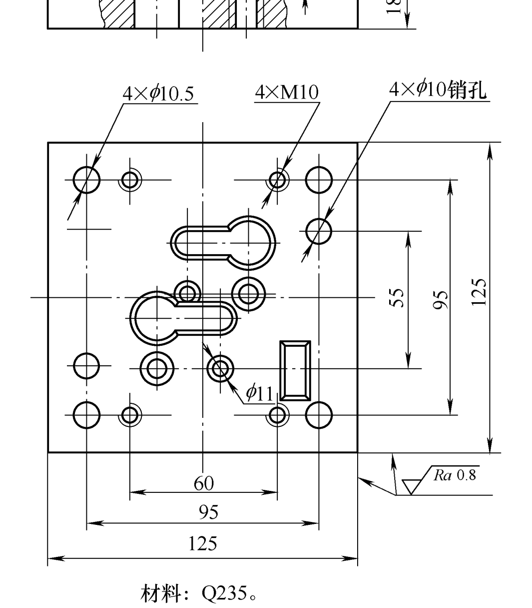
材料：45钢。

技术要求

1.型孔位量和凹模一致。

2.型孔按凸模配作，双面间隙小于0.2mm。

图 1-85　卸料板

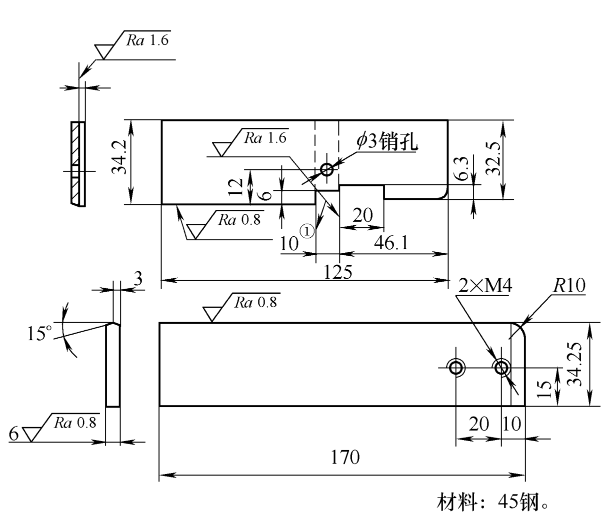


材料：Q235。

技术要求

型孔按凸模配作，过盈量小于0.01mm。

图 1-86　固定板



材料：45钢。

图 1-87　导料板

3. 自动送料装置粗定距、导正销精定距级进模

图 1-88 所示为触点基片制件图，图 1-89 所示为触点基片排样图，图 1-90 所示为触点基片级进模。

经排样工艺试样，图 1-89a 所示的工序排列，易使制件在冲切后的细长条形状产生变形，即使经过校平，整形也达不到制件要求，所以选择方案二。

因制件对外形尺寸要求不高，为使材料得到充分利用，成卷带料纵剪后的宽度尺寸即为制件宽度尺寸 32mm，导正销孔则借用制件上的安装定位孔中 $\phi 2.5$mm。

因外形无特殊要求，略有毛刺也不影响使用，所以最后采用单边切断获取制件。

冲模采用四导柱滚动导向模架，为确保凸

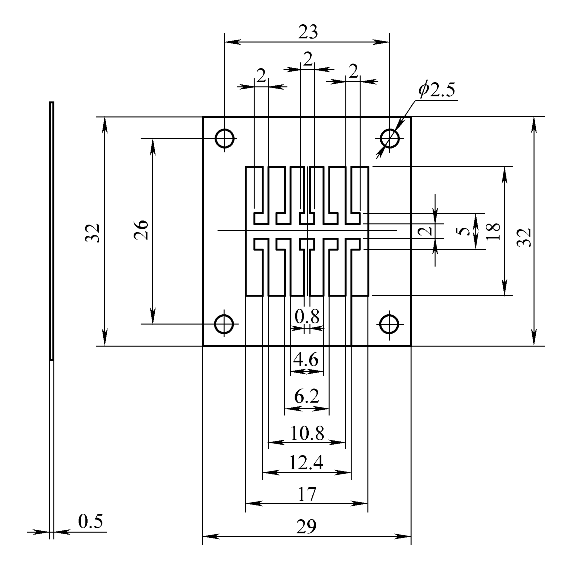
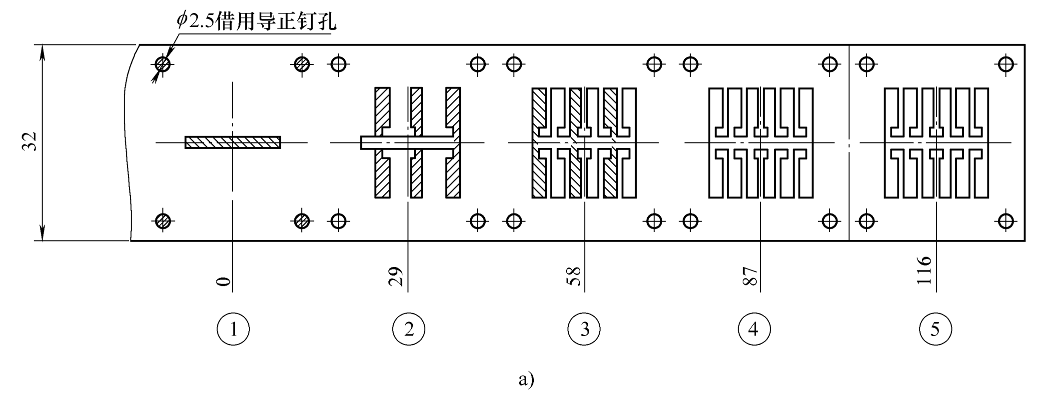
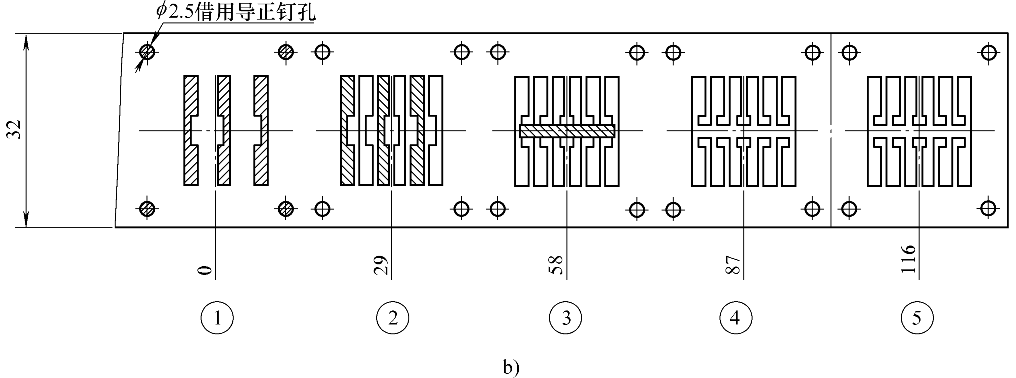


图 1-88　触点基片制件图



a)



b)

图 1-89　触点基片排样图

a）方案一

①冲导正销孔、内形分步冲切　②内形分步冲切　③内形分步冲切　④校平　⑤切断分离

b）方案二

①冲导正销孔、内形分步冲切　②内形分步冲切　③内形分步冲切　④校平　⑤切断分离

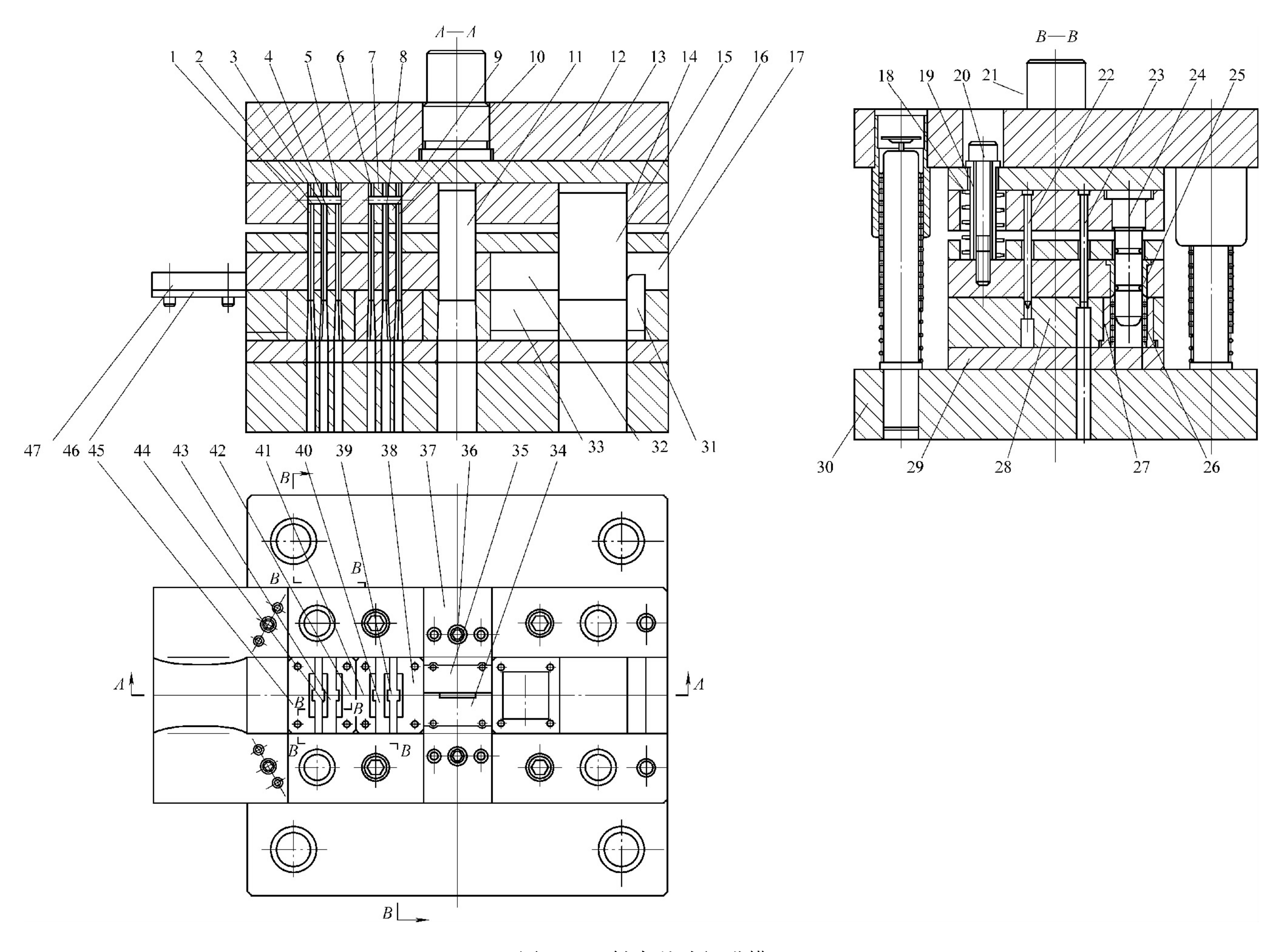


图 1-90　触点基片级进模

1、3、5、6、8、10、11—凸模　2、4、7、9—固定凸模拼块　12—上模座　13、16、29—垫板　14—凸模固定板　15—切断凸模　17—卸料板　18—矩形截面弹簧　19—卸料定距套　20、36—螺钉　21—模柄　22—导正销　23—冲导正销孔凸模　24—导柱　25、27—导套　26—钢珠保持圈　28—凹模固定板　30—下模座　31—挡块　32—校平上凸模　33—校平下凸模　34、35、38、39、40、41、42、43、44、45—凹模镶块　37—后导料板　46—承料板　47—前导料板

模良好导向，在凸模固定板 14、卸料板 17 和凹模固定板 28 之间增加了 4 个小导柱、导套，卸料板 17 与上模座 12 采用 8 支等长卸料定距套 19 连接，以确保卸料板平稳。

冲裁部分凹模采用 YG15 硬质合金分成 10 个小型凹模，镶块 34、35、38 ~ 45 组合在一起镶入凹模固定板 28 内。校平上凸模 32 固定在卸料板 17 内，校平下凸模 33 镶入凹模固定板 28 内，凸模 1、3、5、6、8、10、11 采用 W6Mo5Cr4V2 高速钢制造，硬度为 62 ~ 64HRC，靠固定凸模拼块 2、4、7、9 固定在凸模固定板 14 上。

制件最后切断分离后由下模座漏料孔排出，并由下面安装的收集料筒收集，以免与冲裁废料混合。

4. 垫片级进模

图 1-91 所示为微电动机用垫片及其排样图，图 1-92 所示为垫片级进模。本模具一次冲 11 个制件，共采用 18 个工位，第一步冲导正销孔，第二 ~ 六步冲腰形内孔，第八 ~ 十六步落料外形，第十八步切断废料，其余空位。

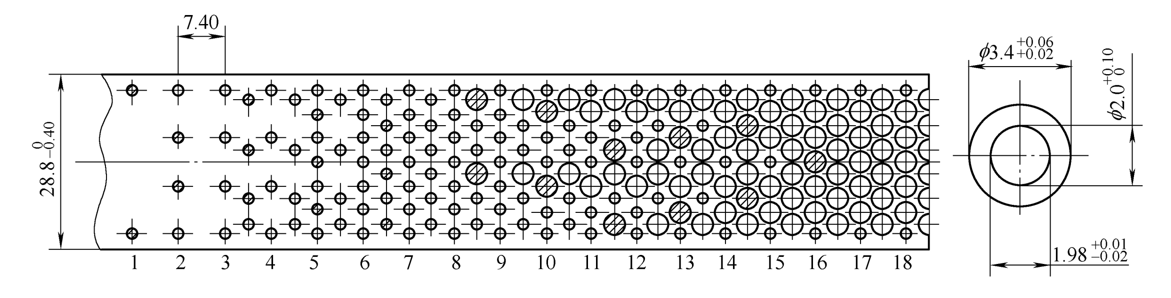


图 1-91 微电动机用垫片及其排样图

本模具采用自动送料机构送料，采用导正销 11 精定位。因生产量大，充分考虑维护、刃磨方便。采用三板式总体结构，四根导柱 1 固定在卸料板 24 上。对刃磨上模凸模和下模凹模方便，且模具运动平稳，凸模固定板 8 和凹模固定板 15 内孔形状完全一致，便于一起加工，确保凸、凹模间隙均匀。

废料切刀 12 采用可卸结构。废料是否切断，可根据现场管理需要来确定。

5. 转子片级进模

图 1-93 所示为微电动机用转子片级进模，是一模四件冲孔落料级进模。由于制件精度高、生产量大，除采用滚动导向装置外，还在凸模固定板 11、卸料板 9、凹模固定板 4 之间增加小导柱导向。并采用自动送料装置和导正销精定位。

6. 定转子铁心自动叠装硬质合金级进模

（1） 自动叠装技术的结构形式与优点

1） 自动叠装的模具结构形式。一种是在模具内全密叠压式，叠压成组的铁心不需要模外再加压，即可装机使用；另一种是半叠压式，出模后已叠合的铁心片之间存在间隙，需要模外再加压才能达到所需的结合力。

2） 自动叠装的优点

① 提高了铁心的精度，外形一致性好，端面平整，质量好。全密叠压式铁心的外径偏差不大于 0. 03mm，半叠压式的铁心外径偏差能保证不大于 0. 02mm。

② 铁心采用叠装冲压后结合强度高，甚至超过焊接铁心，一般定子外径不大于 250mm 均可采用。

③ 自动叠装技术在级进模上应用后，不降低模具的冲裁速度及模具使用寿命。实际使用中

冲裁速度为 200～400 次/min，刃磨寿命达到 120 万次以上，每次刃磨 0.05～0.08mm，模具使用寿命 1 亿次以上。技术经济效益比较高。

（2）自动叠装机理与冲压特点

1）自动叠装机理。从冲裁原理知，冲裁时凸凹模之间有间隙，当间隙较小时，落料件的尺寸大于凹模尺寸，孔的尺寸小于凸模尺寸，即落料件的尺寸大于孔的尺寸，所以将落料件装入孔中有过盈量。而叠装正是利用被包容件的底部大端尺寸压入包容件口部的小端尺寸，使其自然形成的过盈量达到紧固连接的目的。所以，只要在定转子适当部位冲出一定几何形状的叠装点，形

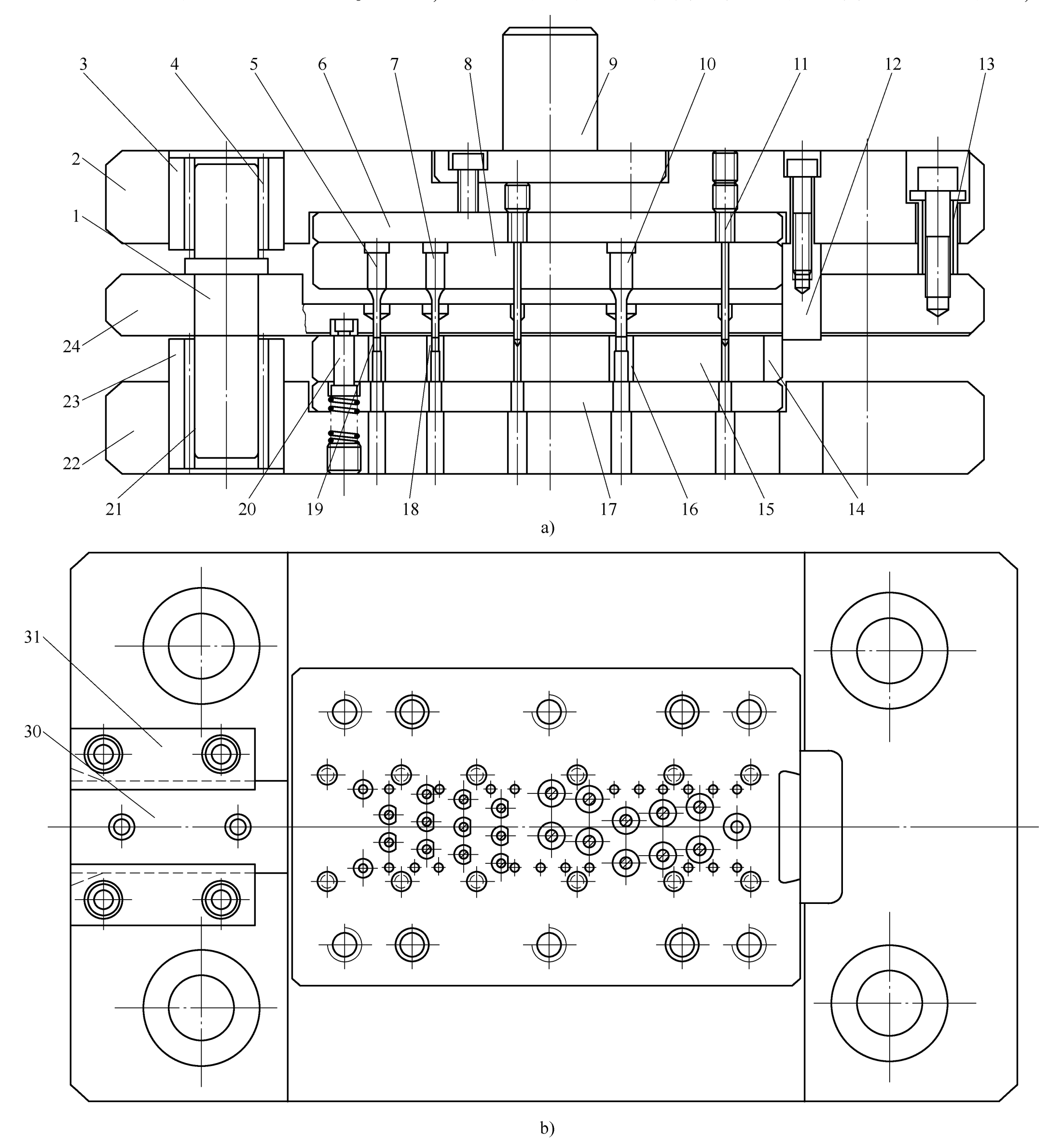
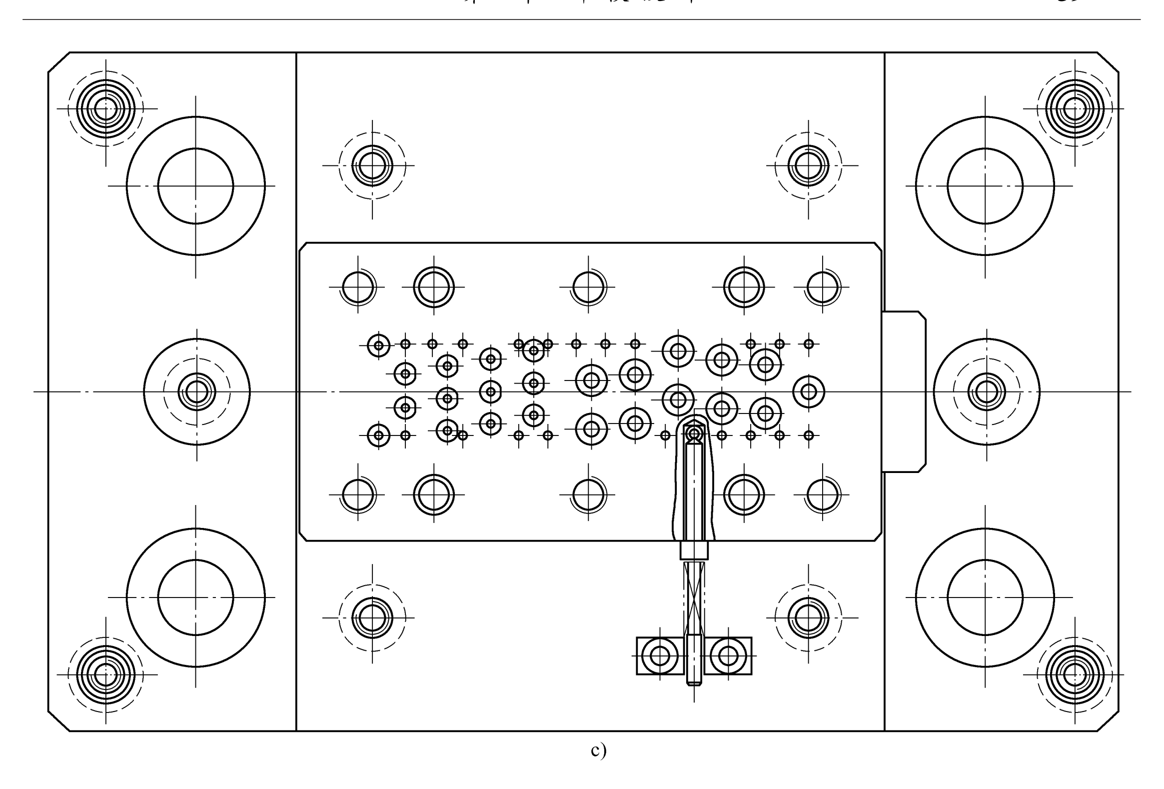
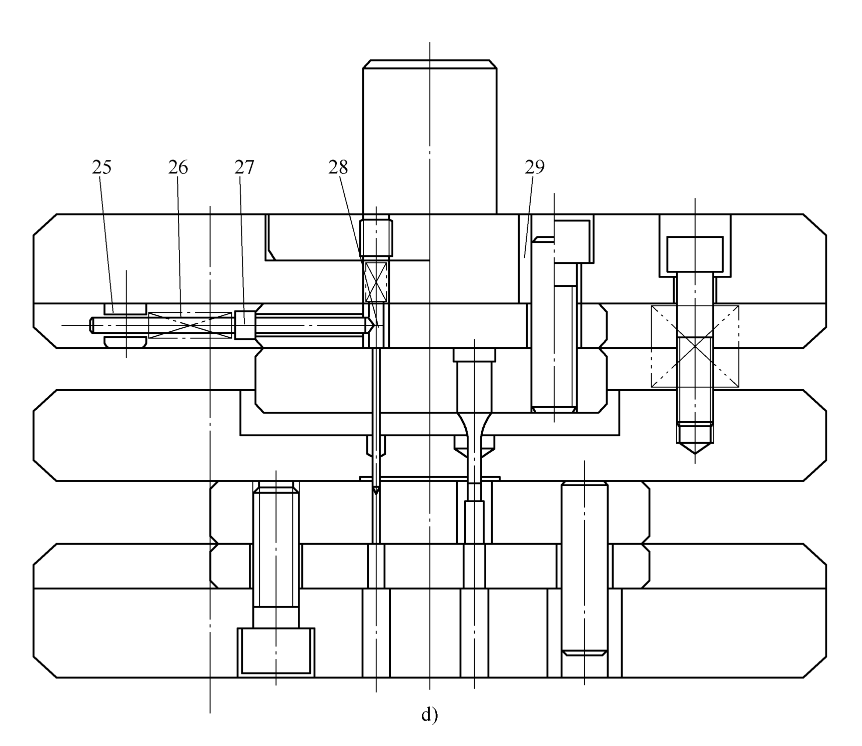


图 1-92　垫片级进模

1—导柱　2—上模座　3、23—导套　4、21—钢珠保持圈　5、7、10—凸模　6—垫板　8—凸模固定板　9—模柄　11—导正销　12—废料切断凸模　13—卸料螺钉组合件　14—凹模镶件　15—凹模固定板　16、18、19—凹模镶件　17—垫板　20—导料销　22—下模座　24—卸料板　25—微动开关　26—弹簧　27—触杆　28—检测导正销　29—镶套　30—支板　31—导料板



c)



d)

图 1-92 （续）

成包容和被包容面，就能将硅钢片叠装为成组铁心，这就是铁心自动叠装的冲压机理。

2）冲压特点。排样时，在定转子冲片上增加了冲叠压点的工位，将落料工位复合成带叠片计数功能的叠装工位。有些转子的铁心还附加有自动扭角功能，这是由叠压点在冲片上不断改变

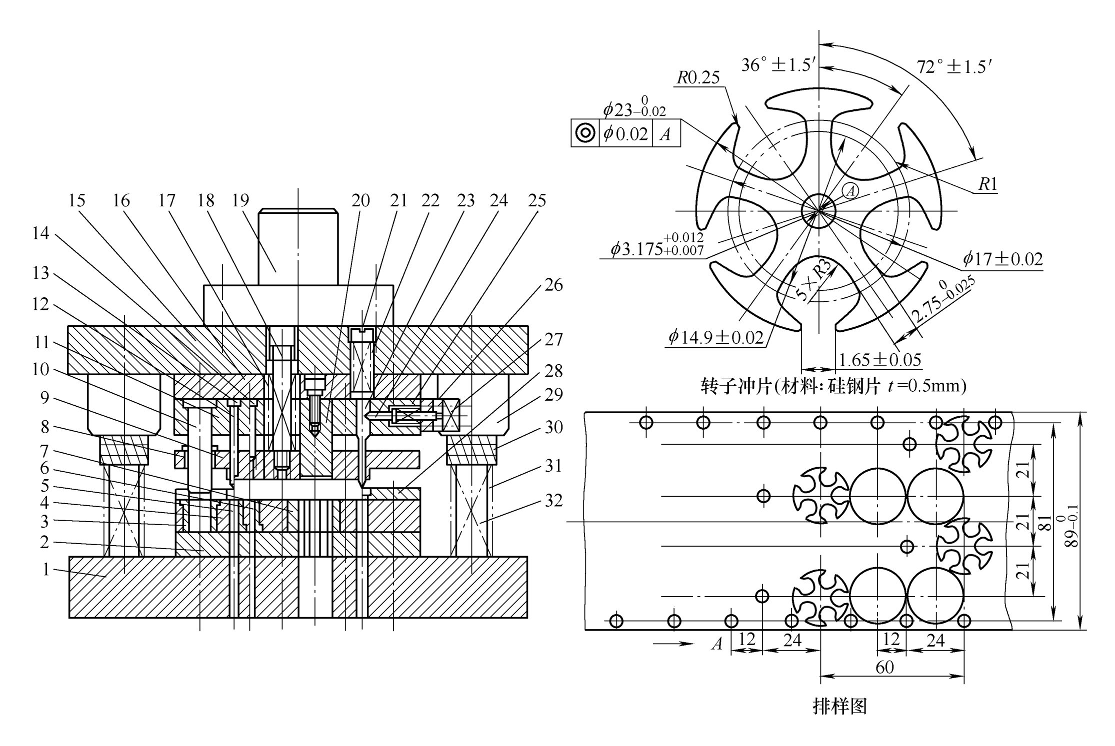


图 1-93　微电动机用转子片级进模

1—下模座　2、16—垫板　3、8—小导套　4—凹模固定板　5、6、7—凹模镶件　9—卸料板
10—小导柱　11—凸模固定板　12—导正销　13、14、20—凸模　15—上模座　17—强力弹簧
18—卸料螺钉　19—模柄　21—螺塞　22、25、31—弹簧　23—浮动检测销　24—横销
26—支架　27—微动开关　28—导料板　29—导套　30—滚珠保持架　32—导柱

位置而形成的。叠装点沿落料方向的上部是凹形孔，下部为凸起，凹形孔可视为包容面，凸起可视为被包容面，如图 1-94 所示。自动冲压时，通过精确送料，在冲模落料工位使上面一片硅钢片的凸起部分准确地与下面一片的凹形孔重合在一起，当上面一片受到落料凸模的压力作用时，下面一片借助其外形与凹模壁的摩擦所产生的反作用力使两片产生叠装，由于材料产生的弹性变形，达到片与片之间紧密连接。如此一来，上面的冲片就一片片地和下面的冲片紧紧地叠装在一起，使落料孔中积存若干个叠装成形的成组冲片（图 1-94b）。由落料凹模洞口落下的已不再是单个冲片，而是按冲压顺序一片挨一片排列整齐、冲裁断面相同、毛刺方向一致、达到规定厚度

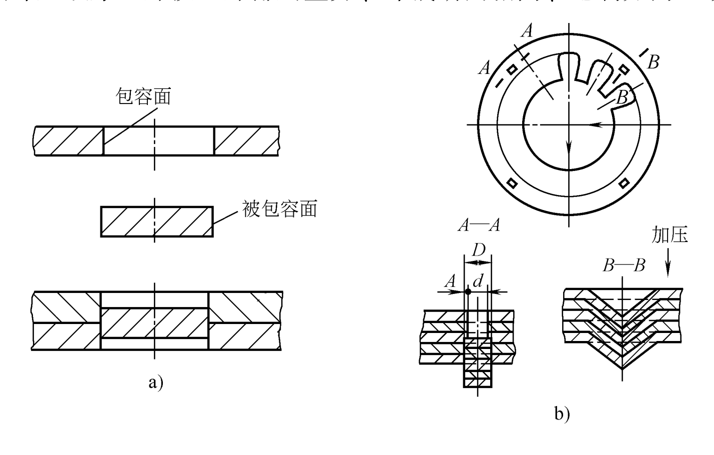


图 1-94　叠装时包容件与被包容件的过盈连接

的铁心。

（3）定转子铁心的排样　图1-95所示为电扇用电动机定转子铁心，材料为D23硅钢片，料厚为0.5mm，定子叠压力为80～100N，转子叠压力为60～80N。在定子片的轭部设4个V形叠压点，如图1-96所示，其尺寸为5mm×1.5mm，在转子片轴孔与槽孔之间设置3个叠压点，供扭转斜槽所用。

图1-97所示为排样图，设有8个工位，工位①冲轴孔及2×ϕ8mm导正销孔；工位②冲转子槽；工位③冲扭斜槽及转子叠压点兼记数；工位④转子落料叠装；工位⑤冲定子槽；工位⑥冲定子叠压点兼记数；工位⑦定子落料叠装；工位⑧切断废料，由废料切断装置完成。

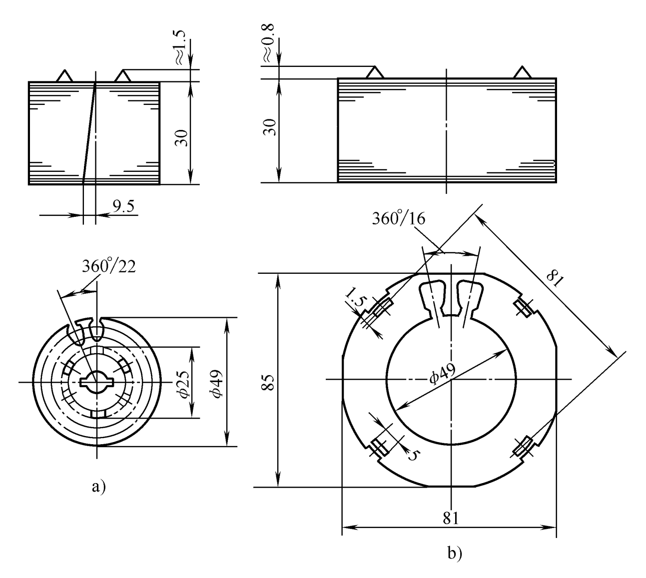


图1-95　电扇用电动机定转子铁心
a）转子　b）定子

（4）模具结构　图1-98所示为一典型的定转子铁心自动叠装硬质合金级进模，本模具在1250kN高速压力机上使用。一般情况下，组成完整的生产线，附有开卷机、自动校平机、自动送料装置、自动加油润滑装置和废料切断等辅助设备。压力机的实际冲压次数在160～400次/min之间。模具采用精密滚动导向模架精密导向装置、定位卸料装置和安全保护装置等。具体要求与特点简要说明如下：

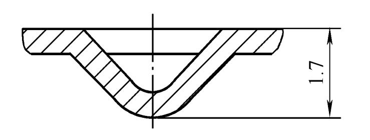


图1-96　V形叠压点

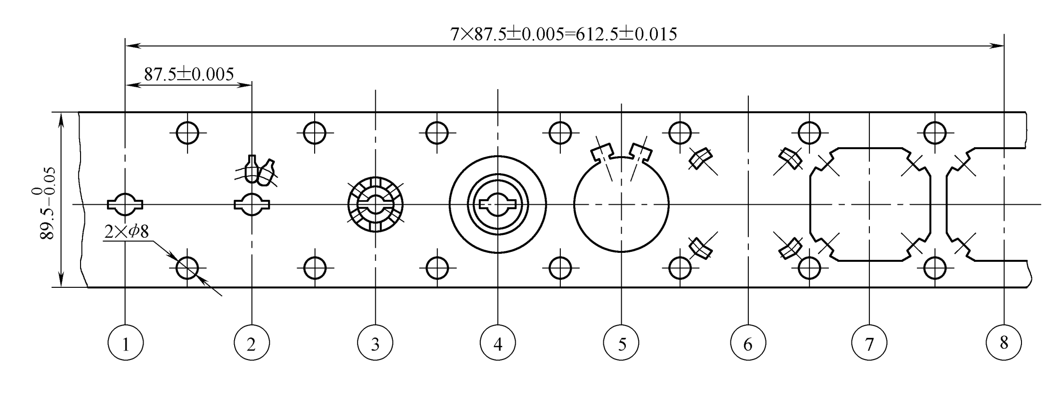


图1-97　排样图

1）模架。本模具的模架精度、刚度比普通级进模高，模架采用6对滚动导柱、导套。导柱、导套装配后相对于上、下模座的垂直度为0.005mm/100mm。装入级进模的每对导柱、导套，装配前经过选择，保证配合过盈量为0.02～0.025mm。上、下模座的厚度为普通模具的2.5～3倍。材料采用45钢或40Cr钢，经调质处理硬度达28～32HRC。上、下平面的平行度为0.003mm/100mm，表面粗糙度值不大于Ra 0.8μm。导柱和导套的材料采用GCr15钢，硬度为62～64HRC。

2）凸模与凹模。凸凹模选用YG20硬质合金，为提高使用寿命，使其特性更适宜于高速冲裁硅钢片，对硬质合金进行高温等静压处理，以细化晶粒，提高强度。

凸凹模及卸料板采用拼块结构，既便于加工又能保证加工精度，其加工精度达0.002mm。

拼块凸模采用压板固定。

凹模由四个模块组成，结构形式如图 2-12 所示。各模块采用 Cr12MoV 合金工具钢制造，凸凹模拼块采用 YG20 硬质合金，由线切割粗加工后再用光学曲线磨削，以保证尺寸精度和互换性。模块用螺钉、销钉固定在下模座上，凹模拼块镶入套圈内，再嵌入模块内。

各凹模孔的孔距精度一般控制在 0.002 ~ 0.005mm 范围内。

转子铁心叠压点凹模部分除图 1-98 所示结构外，还可设计成图 1-99 所示结构。

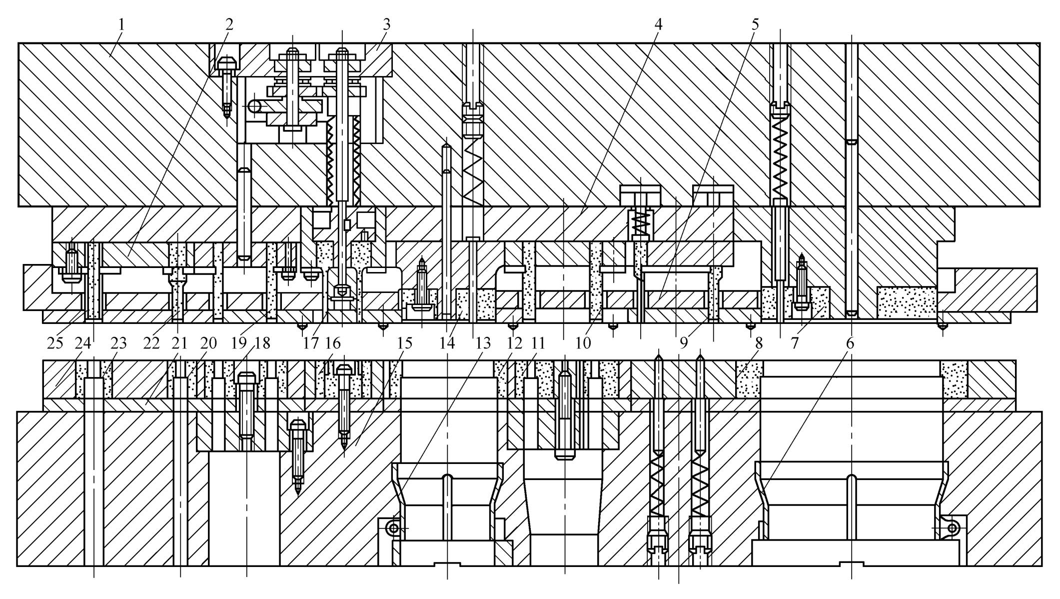


图 1-98　定转子铁心自动叠装硬质合金级进模

1—上模座　2—凸模固定板　3—转子扭角转动机构　4—上垫板　5—弹压卸料板　6—定子紧箍结构　7—定子落料凸模　8—定子落料凹模　9—定子叠压点凸模　10—定子槽凸模　11—定子槽凹模　12—转子落料叠装凹模　13—转子紧箍结构　14—转子落料叠装凸模　15—下模座　16—转子扭角凹模　17—转子扭角凸模　18—转子槽凹模　19—转子槽凸模　20—导正销孔凹模　21—下垫板　22—导正销孔凸模　23—轴孔凹模　24—凹模固定板　25—轴孔凸模

3）卸料装置。卸料装置采用弹压式结构，其结构如图 1-100 所示。要求卸料板在长期工作

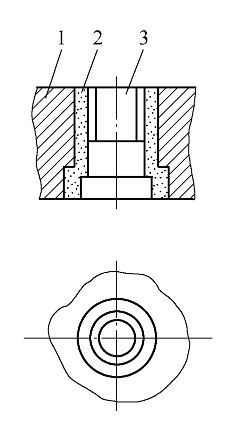


图 1-99　转子叠压点凹模

1—转子扭角固定板　2—转子扭角凹模　3—固定轴

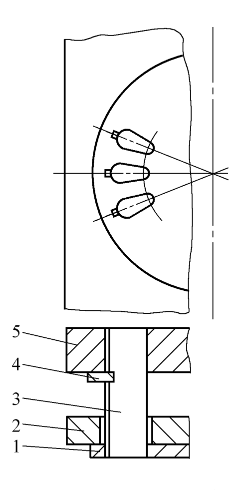


图 1-100　卸料板结构

1—卸料板镶件　2—卸料板　3—转子槽凸模　4—压板　5—固定板

状态下始终保持运动平稳、耐磨、刚性好、不变形、保持高的尺寸精度。卸料板采用Cr12MoV合金工具钢制造，卸料板镶块也采用此钢制造，硬度为56～60HRC。卸料板不仅具有压料、卸料作用，更重要的是具有保护凸模精密准确导向作用。卸料板的制造精度高于凹模，与凸模配作，双边间隙为0.006～0.01mm。

为了保证模具在使用中的动态精度和力点的平衡，模具闭合时卸料板并不压紧卷料，而留有0.05～0.2mm间隙。弹簧压缩量为2.7～3mm。卸料板采用如图1-101所示弹压结构。由于多个套管9长度容易保证一致，所以装配后的卸料板与下模处于理想的平行状态。

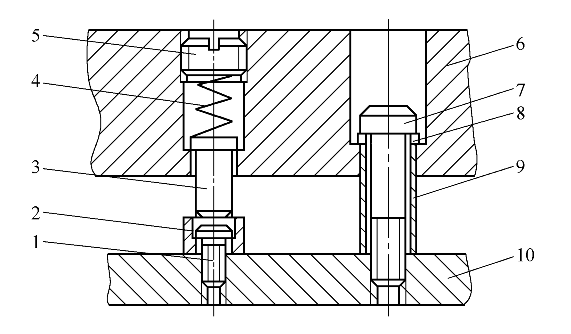


图1-101 卸料板的弹压结构

1、7—螺钉 2—垫块 3—顶杆 4—弹簧 5—螺塞 6—上模座 8—垫圈 9—套管 10—卸料板

4）转子扭角机构。图1-102所示为转子扭角传动机构（图1-98中的零件3），本模具采用机械传动，有上模驱动的转子扭角机构与下模驱动的转子扭角机构，本模具采用上模驱动的转子扭角机构。利用该机构，驱动上模部分的凸模使转子铁心片V形等叠压点凸起成形，同时扭转一定角度。其扭转斜度靠每片冲片上改变V形等叠压点的上模间歇旋转的。上模旋转的速比分别由三联齿轮经变速为H、M、L三挡，H为高挡速比，$i=15.8$；M为中挡速比，$i=31.6$；L为低挡速比，$i=63.2$。

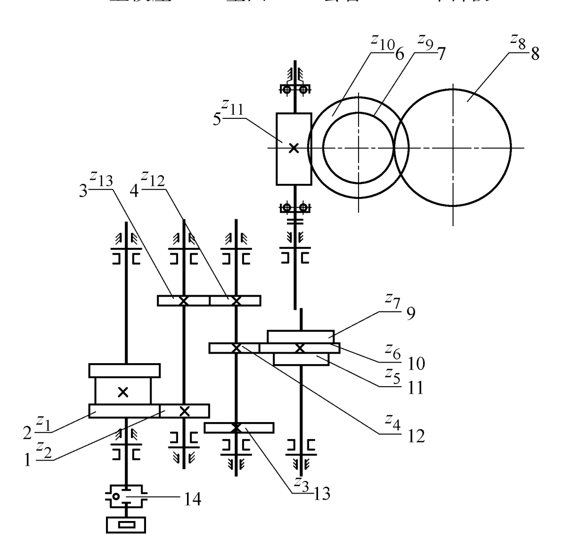


图1-102 转子扭角传动机构

1、2、3、4、7、8、12、13—齿轮 5—蜗杆 6—蜗轮 9、10、11—三联齿轮 14—离合器

转子扭角机构由杠杆和传动机构组成。杠杆使上模的上下运动转变为机构主动轴正反运动。传动机构将主轴的正反转变换为单向间歇回转，使机构按设定的回转角度输出，以控制叠装凸模。

5）冲压设备。选用高精度高速压力机，其公称压力大于模具所需冲裁力的1.5倍。自动送料精度保证在±（0.03～0.04）mm。

6）润滑。使用无硫化物的优质润滑剂对硬质合金叠装模进行润滑。

7. 定转子铁心双回转自动叠装级进模

图1-103所示为步进电动机定转子铁心，定子铁心冲片之间旋转90°叠片，转子铁心冲片之间旋转72°叠片。图1-104所示为排样图，图1-105所示为定转子铁心双回转自动叠装级进模。双回转自动叠装过程由下列机构组成，图1-106所示为压力机曲轴传动示意图，图1-107所示为双回转传动机构，图1-108所示为双回转精度检测装置，图1-109所示为机械安全机构，图1-110所示为自动叠装计数分离装置。

本模具在自动送料、导正销精定位高速压力机上冲压，上、下模采用6根大的精密滚珠导向模架导向，卸料上用4根小导柱导向，所有技术要求同图1-98。

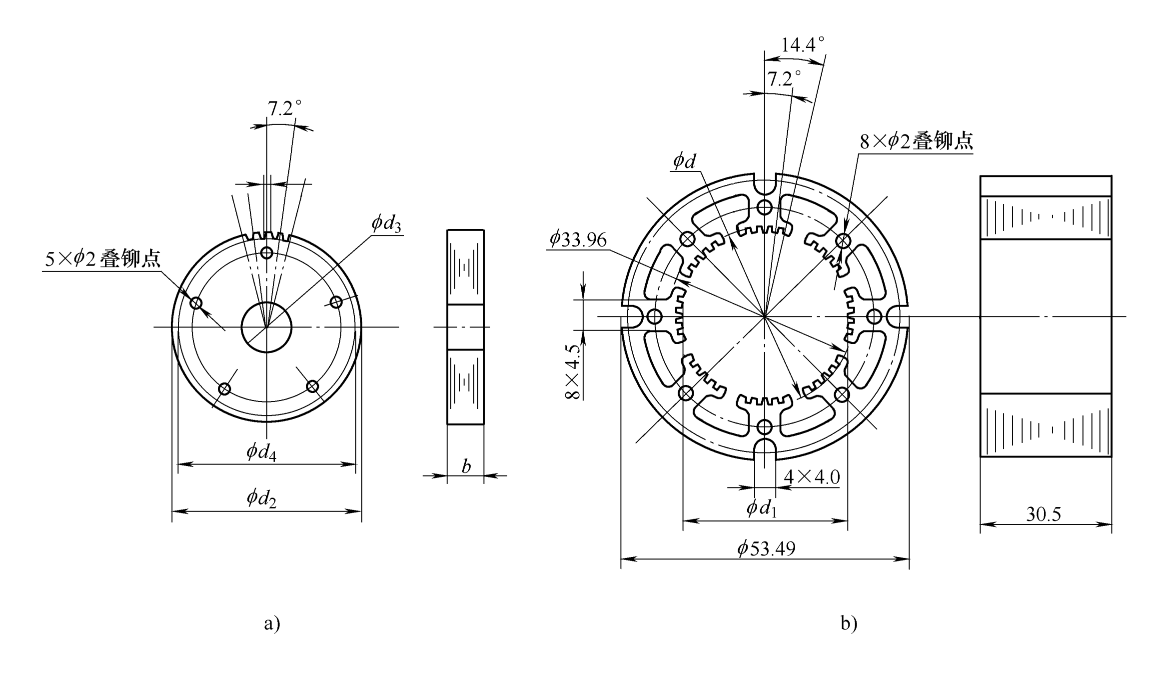


图 1-103　步进电动机定转子铁心

a）转子　b）定子

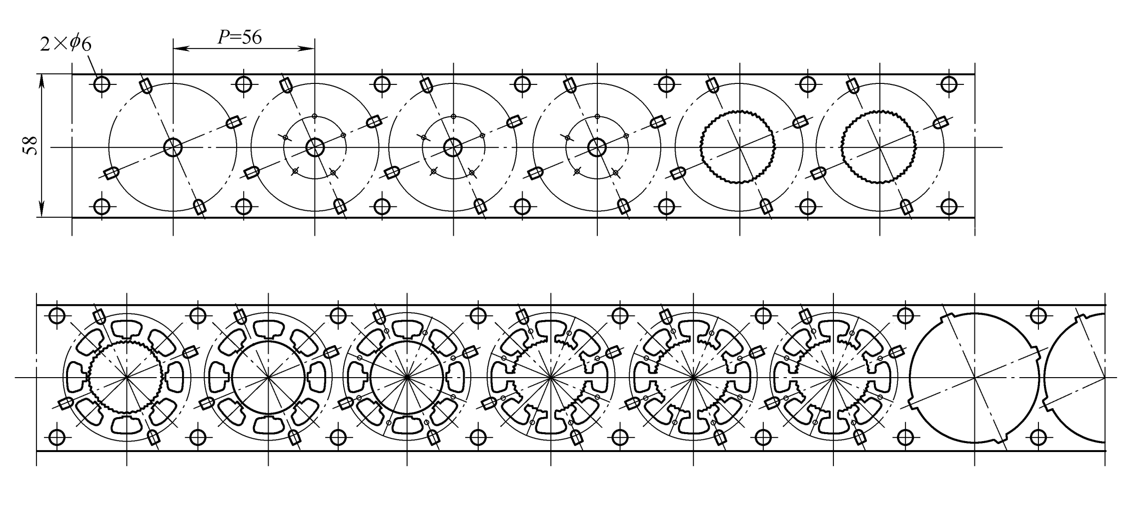


图 1-104　排样图

8. 集成电路引线框架级进模

图 1-111 所示为双列 8 脚集成电路引线框架排样图，图 1-112 所示为双列 8 脚集成电路引线框架级进模下模装配简图，图 1-113 所示为双列 8 脚集成电路引线框架级进模上模装配简图。为适应高效率、高精度、高寿命的生产需要，凹模及卸料板均采用拼块结构，主要零件凸模、凹模拼块、卸料板拼块均可互换，并采用硬质合金材料制造，由内形加工变为外形加工，所以加工方便，极大地提高和保证了零件的加工精度。拼合时，凹模和卸料板采用同一拼合面，保证了模具的加工和装配精度。考虑到凸模的强度，细长的型孔可以分段冲制，但必须注意防止出现接缝产生毛刺而影响制件质量。

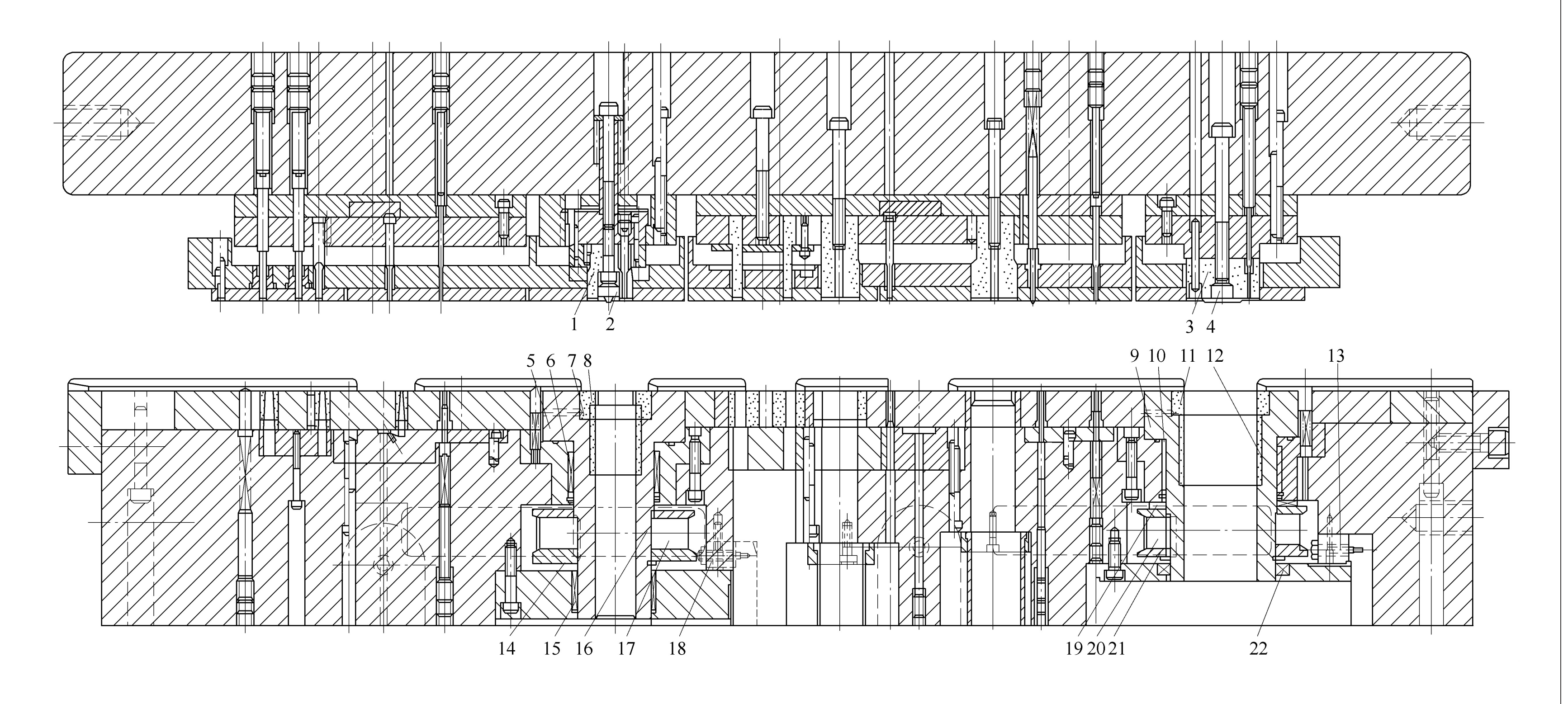


图 1-105　定转子铁心双回转自动叠装级进模

1—转子落料凸模　2—转子落料导头　3—定子落料凸模　4—定子落料导头　5—转子回转套　6、10、15—滚针轴承　7—转子落料凹模　8—转子收紧圈　9—定子回转套　11—定子落料凹模　12—定子收紧圈　13、18—开关　14—转子法兰盘　16、19—推力滚针轴承　17—转子带轮　20—定子带轮　21—定子法兰盘　22—轴承

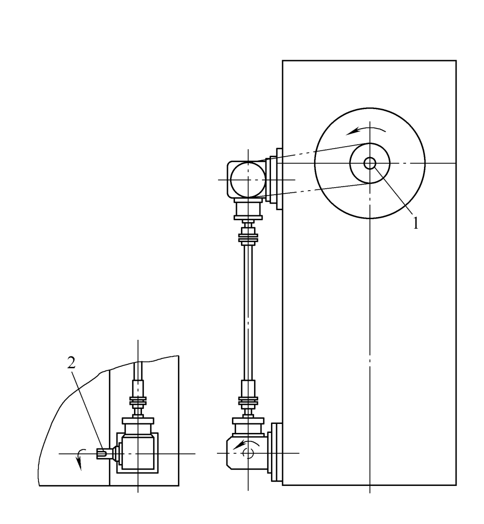


图 1-106　压力机曲轴传动示意图

1—曲轴　2—压力机输出传动轴

图 1-107　双回转传动机构

1、2、10、14—带轮　3—下模　4、5—同步带　6、7、8、9—张紧滑轮　11—定子回转驱动装置　12—联轴器　13—转子回转驱动装置　15—连接法兰　16—万向联轴器　17—压力机输出转动轴

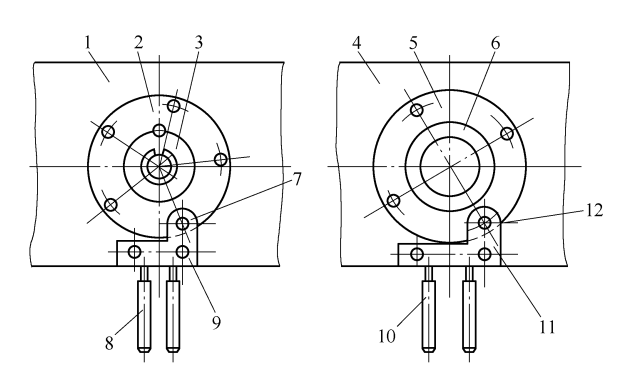


图 1-108　双回转精度检测装置

1、4—凹模固定板　2—转子回转套　3—转子落料凹模　5—定子回转套　6—定子落料凹模　7、12—定位销　8、10—手柄　9—转子检测销定位板　11—定子检测销定位板

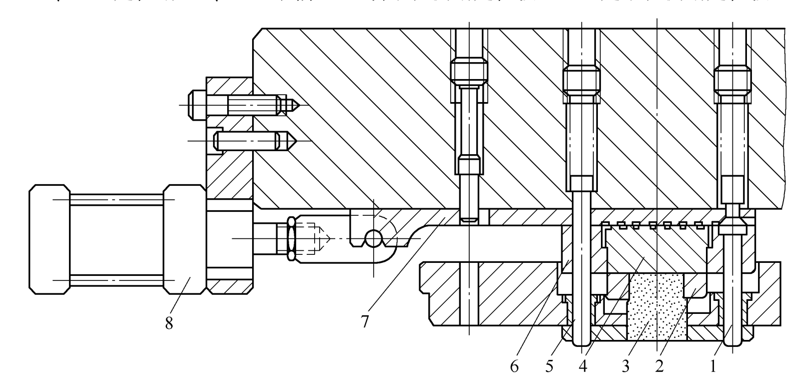


图 1-109　机械安全机构

1、5—小导柱　2—转子落料凸模固定板　3—转子落料凸模　4—转子落料凸模座　6—固定板　7—抽板　8—气缸和电磁阀

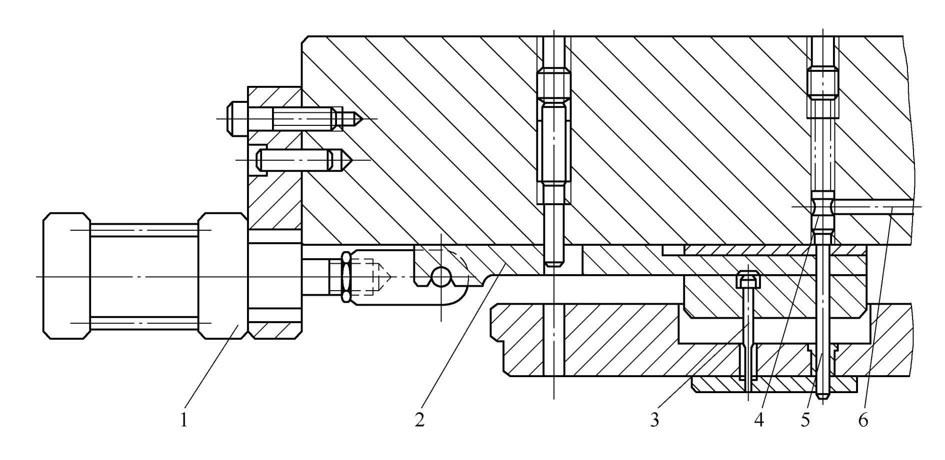


图 1-110　自动叠装计数分离装置

1—气缸和电磁阀　2—抽板　3—计数凸模　4—失误滑头　5—失误导头　6—失误触杆

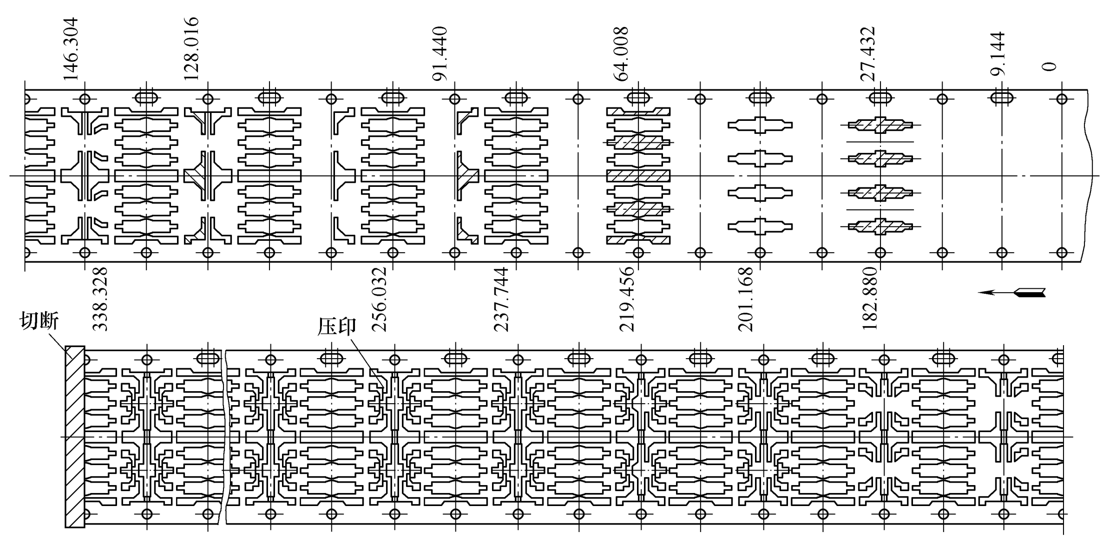


图 1-111　双列 8 脚集成电路引线框架排样图

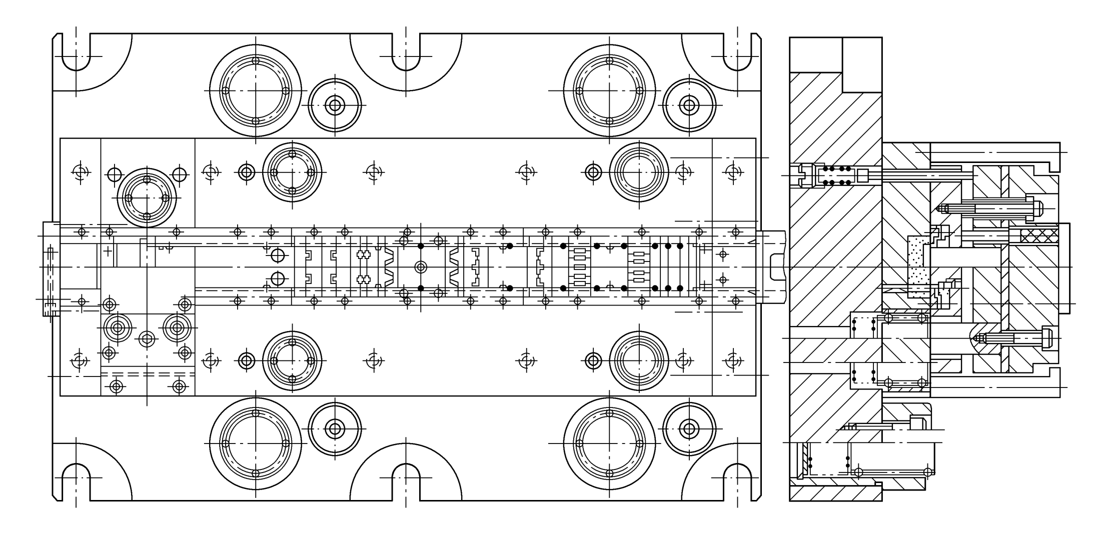


图 1-112　双列 8 脚集成电路引线框架级进模下模装配简图

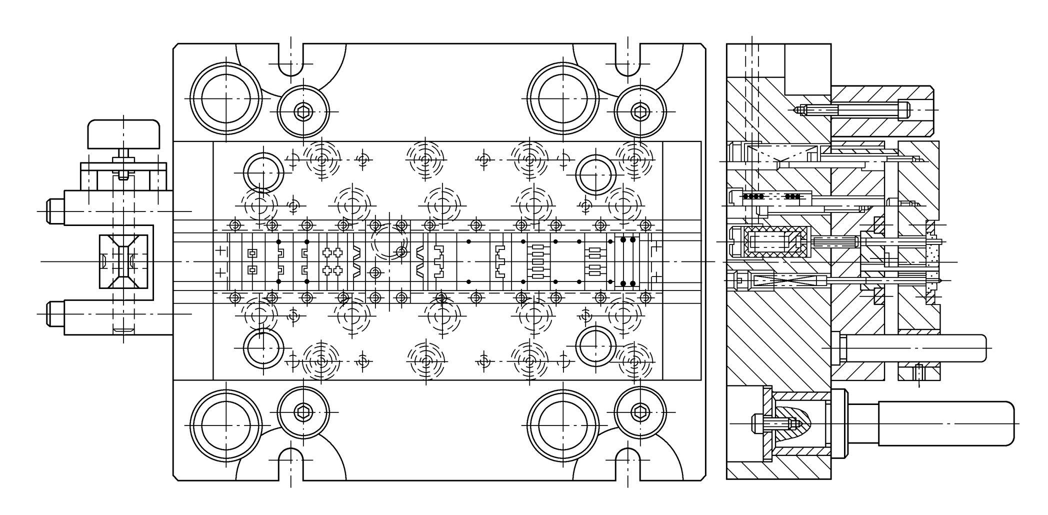


图 1-113　双列 8 脚集成电路引线框架级进模上模装配简图

凹模拼块的固定方法采用直槽式固定方法，如图 1-114 所示，即将凹模固定板加工出直通槽，槽宽与凹模拼块的外形尺寸约有 0.002mm 的间隙配合，两端用螺钉固定左右挡块，并在靠近凹模拼块的一面各装入一块斜度为 3°～7°的楔块锁紧。它同时对凹模拼块产生预压力，其大小应能抵消材料冲下后所产生的弹性变形胀力，而不致使各凹模拼块分离。凹模拼块可通过导料板用螺钉、销钉紧固压紧。

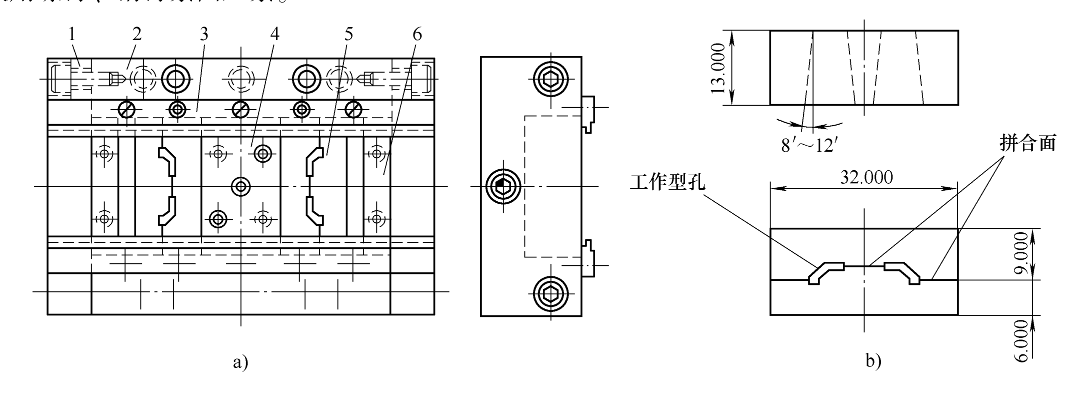


图 1-114　凹模拼块直槽式固定方法

a）固定形式　b）拼块

1—左、右挡板　2—凹模固定板　3—导料板　4—中心板　5—凹模拼块　6—左、右楔块

第二节　弯曲模设计

将毛坯或半成品制件沿弯曲线弯成一定角度和形状的冲模叫弯曲模。

一、V 形件弯曲模

V 形件的形状较简单，能一次弯曲成形，V 形件的弯曲是指沿弯曲线的角平分线方向弯曲。

1. V 形件弯曲模的结构

图 1-115 所示为 V 形件弯曲模的基本结构，当制件要求不高时，也可不装顶杆 6、弹簧 10 及弹簧套 11。

2. V 形件通用弯曲模

图 1-116 所示为 V 形件通用弯曲模，两块组合凹模可配作成四种角度，与四个不同角度的凸

模相配合，能弯曲四种不同角度的多种 V 形件，两定位板可左右移动，以适应不同弯曲长度尺寸制件的需要。

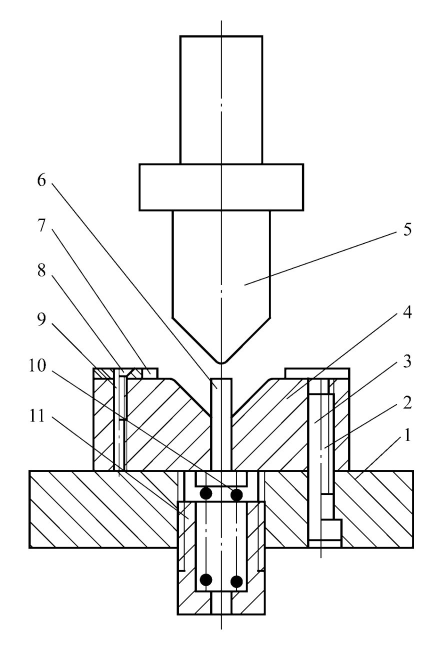


图 1-115　V 形件弯曲模

1—下模座　2、8—螺钉　3、9—销　4—凹模　5—凸模　6—顶杆　7—定位板　10—弹簧　11—弹簧套

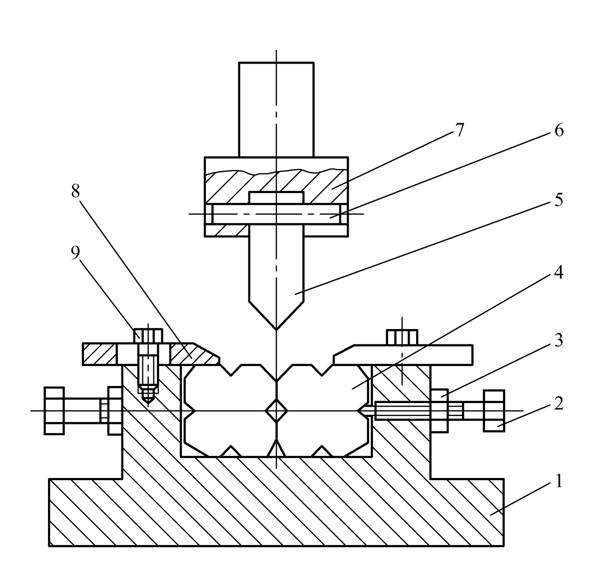


图 1-116　V 形件通用弯曲模

1—下模座　2、9—螺钉　3—螺母　4—凹模　5—凸模　6—销　7—模柄　8—定位板

二、L 形件弯曲模

1. L 形件弯曲模（一）

当弯曲件两直边长度不对称时，通常采用 L 形件弯曲模，图 1-117 所示为小型 L 形件弯曲模，弯曲时凸模 5 和顶板 6 将毛坯压牢进行弯曲，弯曲件质量较好。

2. L 形件弯曲模（二）

图 1-118 所示为弯曲一边较短，另一边较长制件的弯曲模。

三、U 形件弯曲模

1. U 形件弯曲模的结构

图 1-119 所示为 U 形件弯曲模，凹模型孔宽度大于弯曲件宽度，取 15mm 凹模（图 1-120）。凸模工作部分宽度应小于凹模型孔宽度，取 14.8mm，凸模如图 1-121 所示。弯曲时，凸模 7 和顶板 11 将毛坯压紧弯曲，在最后成形时凸模和顶板对弯曲件进行镦压。顶板还起将弯曲件从凹模洞口中顶出的作用。顶板如图 1-122 所示。模具装配时，凹模 4、中垫板 3、垫板 2、下模座 1 用夹板夹紧一起冲螺钉孔和销

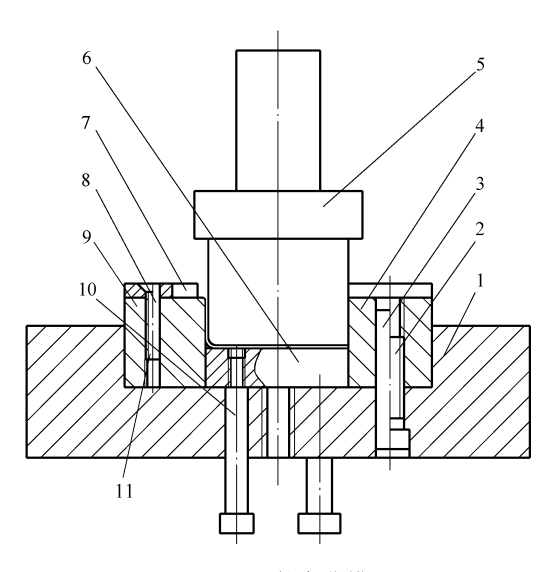


图 1-117　L 形件弯曲模（一）

1—下模座　2、11—螺钉　3、8—销　4、9—凹模拼块　5—凸模　6—顶板　7—定位板　10—卸料螺钉

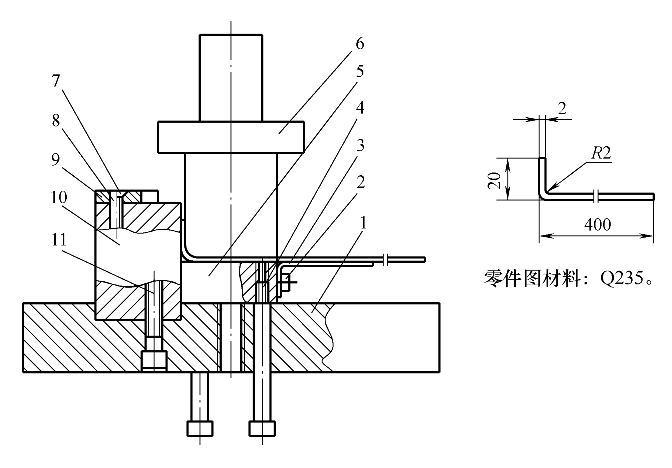


图 1-118　L 形件弯曲模（二）

1—下模座　2、7、11—螺钉　3—承料板　4—卸料螺钉
5—顶板　6—凸模　8—销　9—定位板　10—凹模

零件图 材料：Q235。

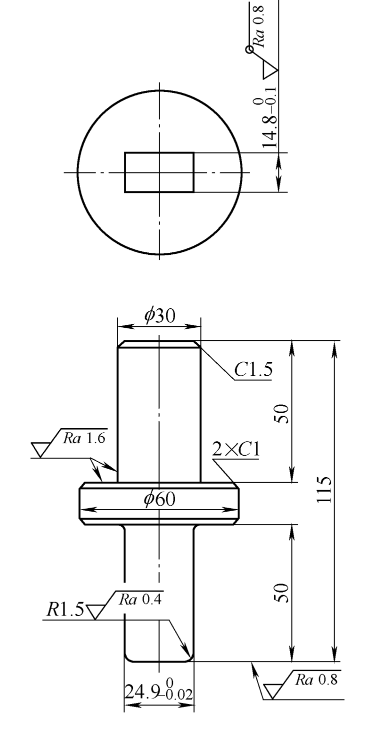
图 1-119　U 形件弯曲模

1—下模座　2—垫板　3—中垫板　4—凹模　5、9、13—螺钉
6、10—销　7—凸模　8—定位板　11—顶板　12—顶杆
14—支板　15—橡胶　16—螺母

材料：CrWMn，硬度为60～64HRC。

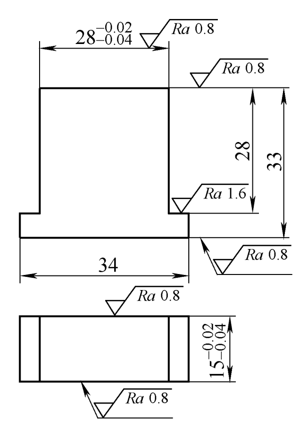
图 1-120　凹模

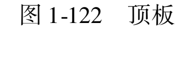
钉孔，因而中垫板下模座的螺钉孔和销钉孔可不画出。中垫板如图 1-123 所示，下模座如图 1-124 所示，顶杆如图 1-125 所示，螺杆如图 1-126 所示，支板如图 1-127 所示，定位板如图 1-128 所示。为了提高弯曲件质量和模具寿命，凹模工作部分可做成镶块，如图 1-129 所示。镶块可两件做在一起，磨削加工后再切开使用，如图 1-130 所示。下模也可采用拼块结构，如图 1-131 所示。



材料：CrWMn, 硬度为 58～62HRC。

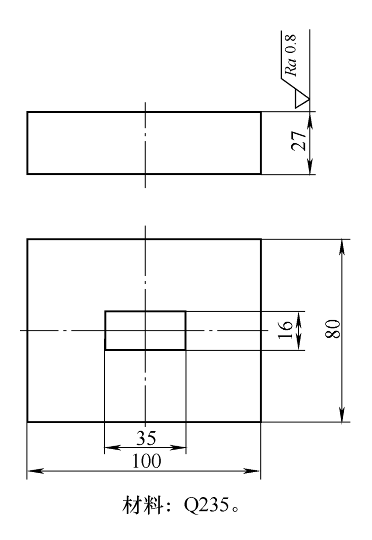
图 1-121　凸模





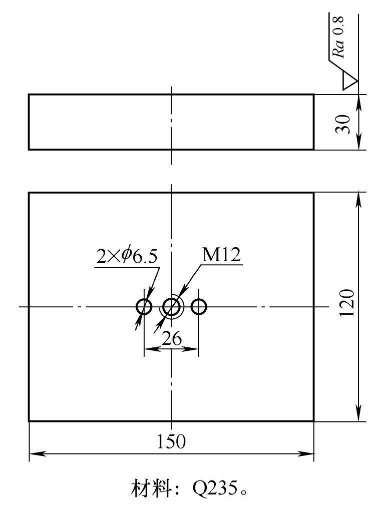
材料：T10A，硬度为 56～60HRC。

图 1-122　顶板



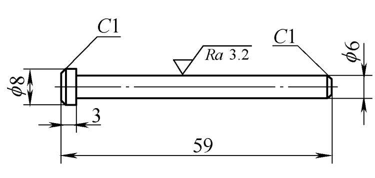
材料：Q235。

图 1-123　中垫板



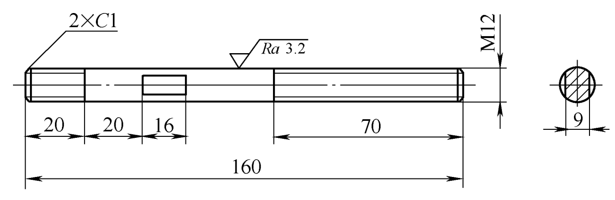
材料：Q235。

图 1-124　下模座



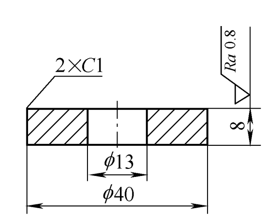
材料：45 钢，硬度为 43～48HRC。

图 1-125　顶杆



材料：45 钢，硬度为 43～48HRC。

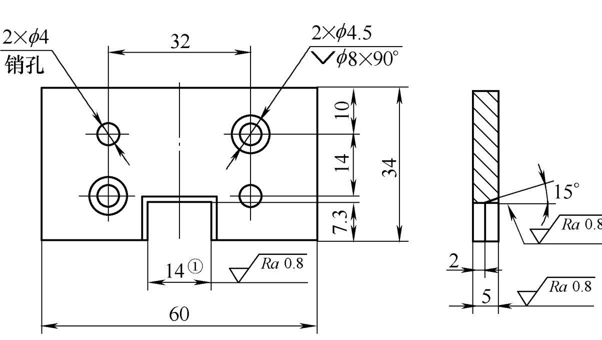
图 1-126　螺杆



材料：45 钢，硬度为 43～48HRC。



图 1-127　支板



材料：45 钢，硬度为 31~35HRC。
①尺寸按毛坯配作，双面间隙小于 0.03mm。

图 1-128　定位板

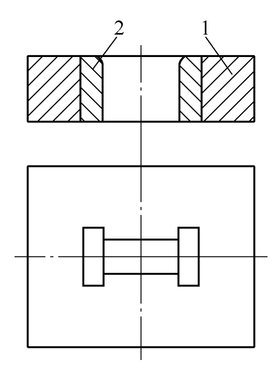


图 1-129　凹模
1—凹模固定板　2—镶块

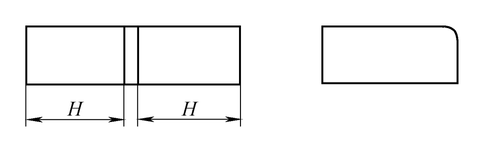


图 1-130　镶块

2. 带整形的 U 形件弯曲模（一）

图 1-132 所示为弯曲件外形精度要求较高时使用的带整形的弯曲模。凸模 5 和顶板 13 将毛坯压紧进行弯曲后，凸模 5 受斜楔 7 的作用被向外挤压，使弯曲件外形整形后达到较高精度。

3. 带整形的 U 形件弯曲模（二）

图 1-133 所示为弯曲件内形精度要求较高时使用的带整形的弯曲模。凸模 8 和顶板 9 将毛坯压紧进行弯曲后，弯曲件两侧被斜面推动的凹模 7 整形，使内形尺寸达到较高精度。

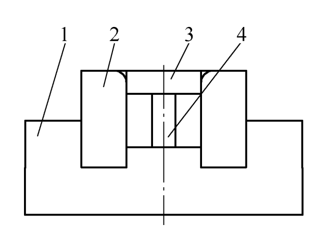


图 1-131　拼块凹模
1—下模座　2—拼块
3—顶杆　4—弹压螺钉

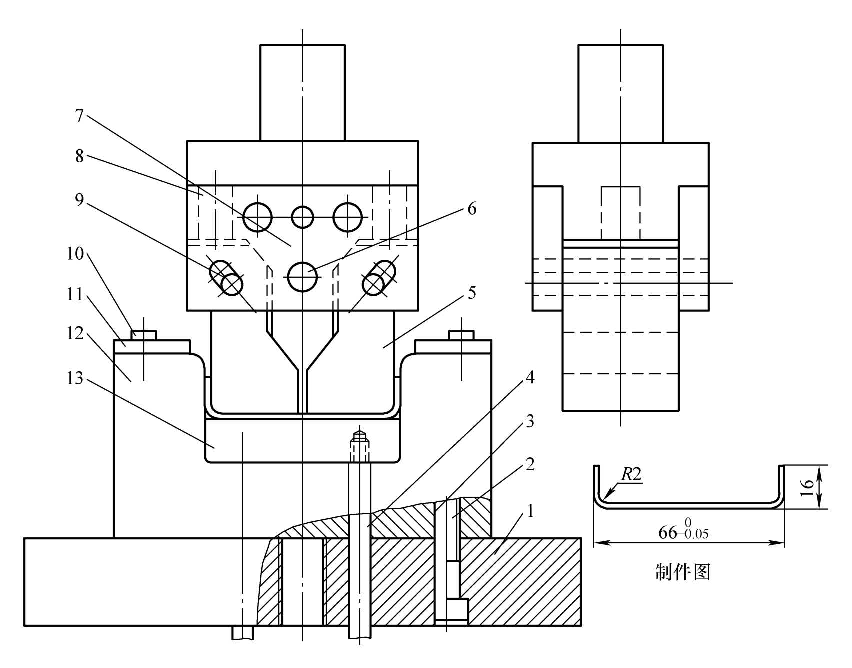


图 1-132　带整形的 U 形件弯曲模（一）

1—下模座　2、6、10—螺钉　3、9—销　4—卸料螺钉　5—凸模
7—斜楔　8—弹簧　11—定位板　12—凹模　13—顶板

四、圆形件弯曲模

1. 直径小于 10mm 的圆形件弯曲模

弯小圆弧的方法一般是先弯成 U 形，再将 U 形弯成圆形，如图 1-134 所示。当制件生产量大时，也可将两道工序合并在一副复杂模具中进行，如图 1-135 所示。毛坯放在定位摆块 2 上定位，压力机滑块下行时，上凹模 1 和毛坯先接触，使摆块摆动，毛坯脱离摆块。同时，芯轴凸模 7 和上凹模 1 将毛坯弯成倒 U 形。这时，调整螺钉 4 和升降架 5 接触，上模继续下行，迫使芯轴凸模 7 一起下移，在芯轴凸模 7 和下凹模 3 的作用下，将倒 U 形件弯成圆形件。压力机回程时，装在上模的推块 10 的斜面作用于滑轮 11，推动滑套 6 将留在芯轴凸模 7 上的制作自动推落。当推块 10 脱离滑轮 11 后，由弹簧 8 使滑套 6 复位。本模具中，弹顶器 9 的弹力必须大于毛坯压成倒 U 形的弯曲力。

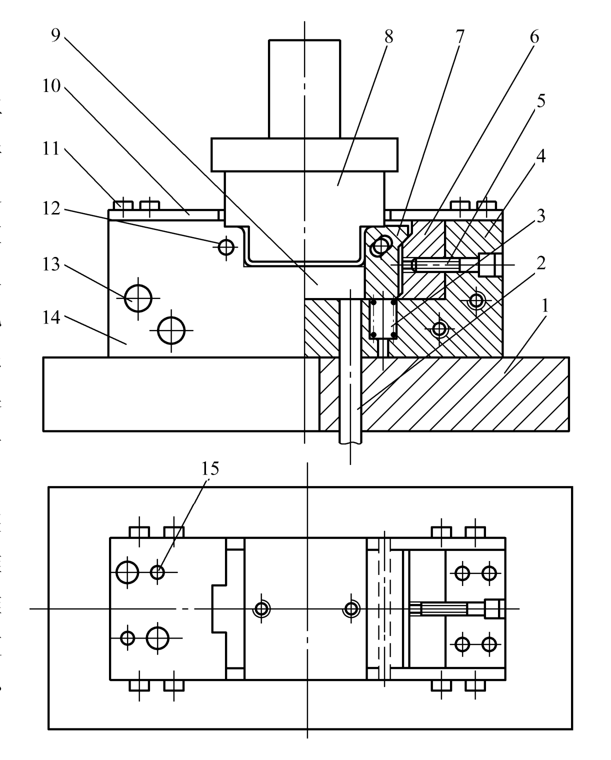


图 1-133　带整形的 U 形件弯曲模（二）

1—下模座　2—卸料螺钉　3—弹簧　4—凹模框
5、11、13—螺钉　6—斜楔　7—凹模　8—凸模
9—顶板　10—定位板　12、15—销　14—挡板

2. 直径大于 20mm 的圆形件弯曲模

直径大于 20mm 的圆形件一般采用两道工序弯制成形，如图 1-136 和图 1-137 所示。即先弯成波浪形，再弯成圆形。

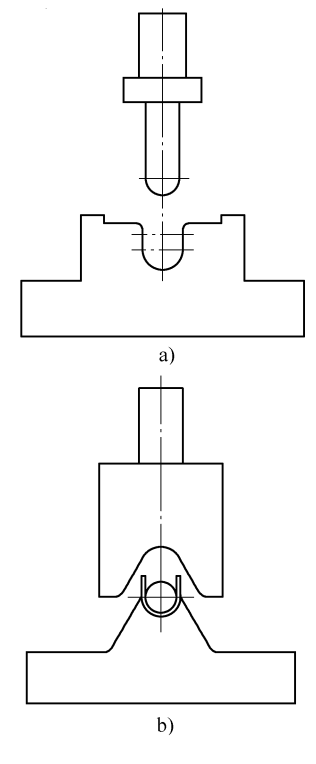


图 1-134　弯曲模
a）U 形　b）圆形

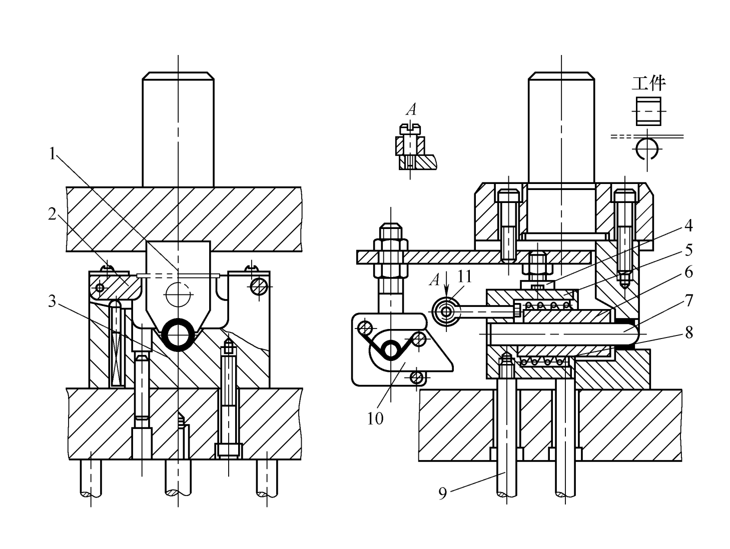


图 1-135　弯曲模
1—上凹模　2—摆块　3—下凹模　4—调整螺钉
5—升降架　6—滑套　7—芯轴凸模　8—弹簧
9—弹顶器　10—推块　11—滑轮

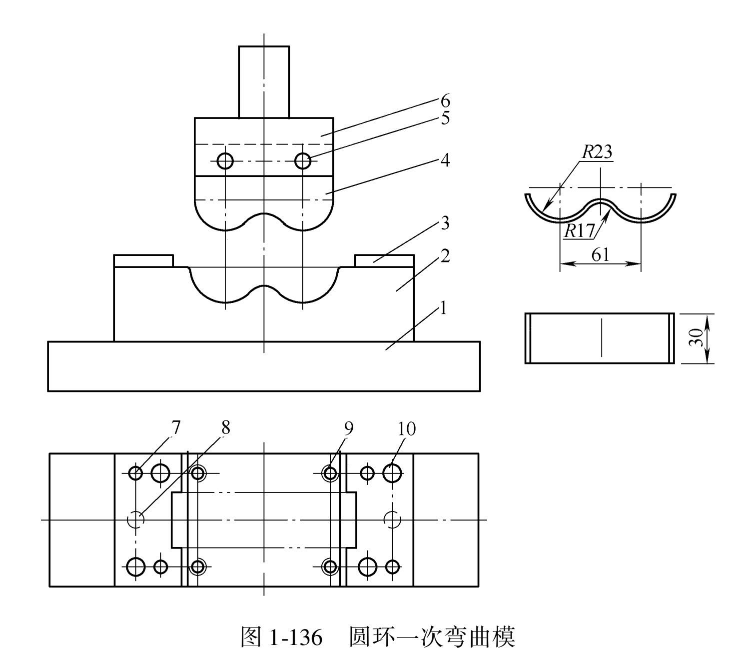


图 1-136　圆环一次弯曲模
1—下模座　2—凹模　3—定位板　4—凸模　5、7、8—销　6—模柄　9、10—螺钉

3. 直径为 10 ~ 20mm 的圆形件弯曲模

一般可采用上述两种方法之一完成，也可用一副模具弯曲成形，如图 1-135 所示和图 1-138 所示。

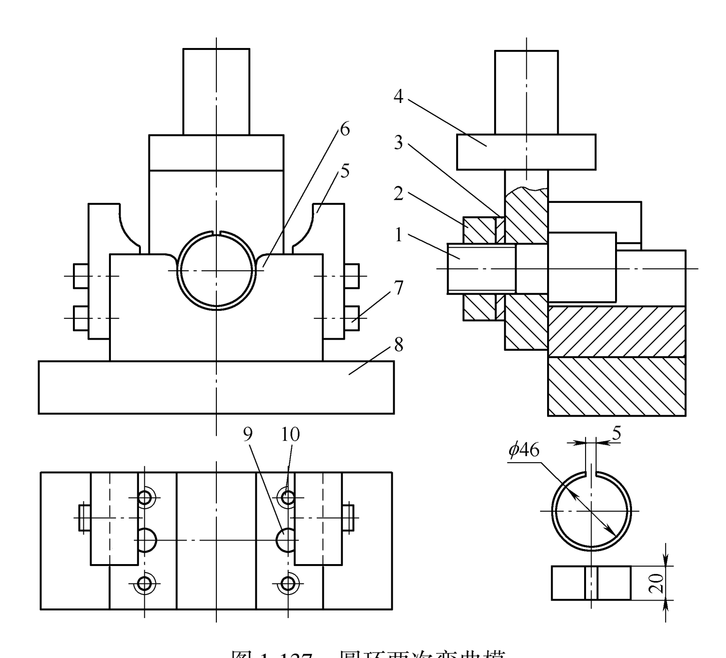


图1-137　圆环两次弯曲模

1—凸模　2—螺母　3—垫圈　4—支架　5—定位板　6—凹模　7、10—螺钉
8—下模座　9、11—销　12—模柄

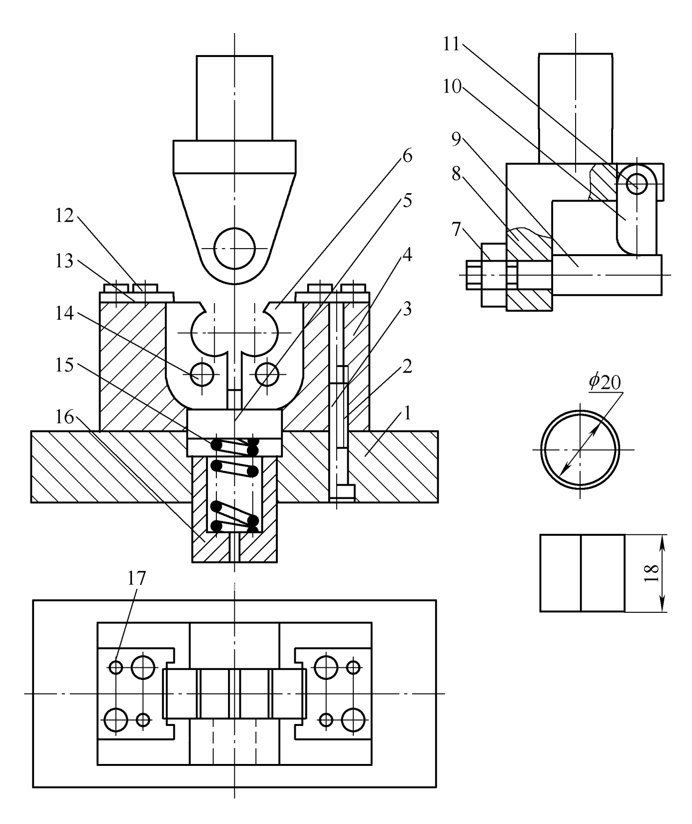


图1-138　弯曲模

1—下模座　2、12—螺钉　3、11、14、17—销　4—固定板　5—顶板　6—摆动凹模　7—螺母
8—支架　9—芯轴　10—支撑　13—定位板　15—弹簧　16—螺纹套

五、其他形状弯曲模

1. 滑轮式弯曲模

图 1-139 所示为滑轮式弯曲模，工作时，毛坯以凹模 3 上的凸台和定位板 15 定位。压力机滑块下行时，推件块 4 和凹模 3 将毛坯压紧，随即滚轮 13 和凸模 5 将毛坯压弯成形。

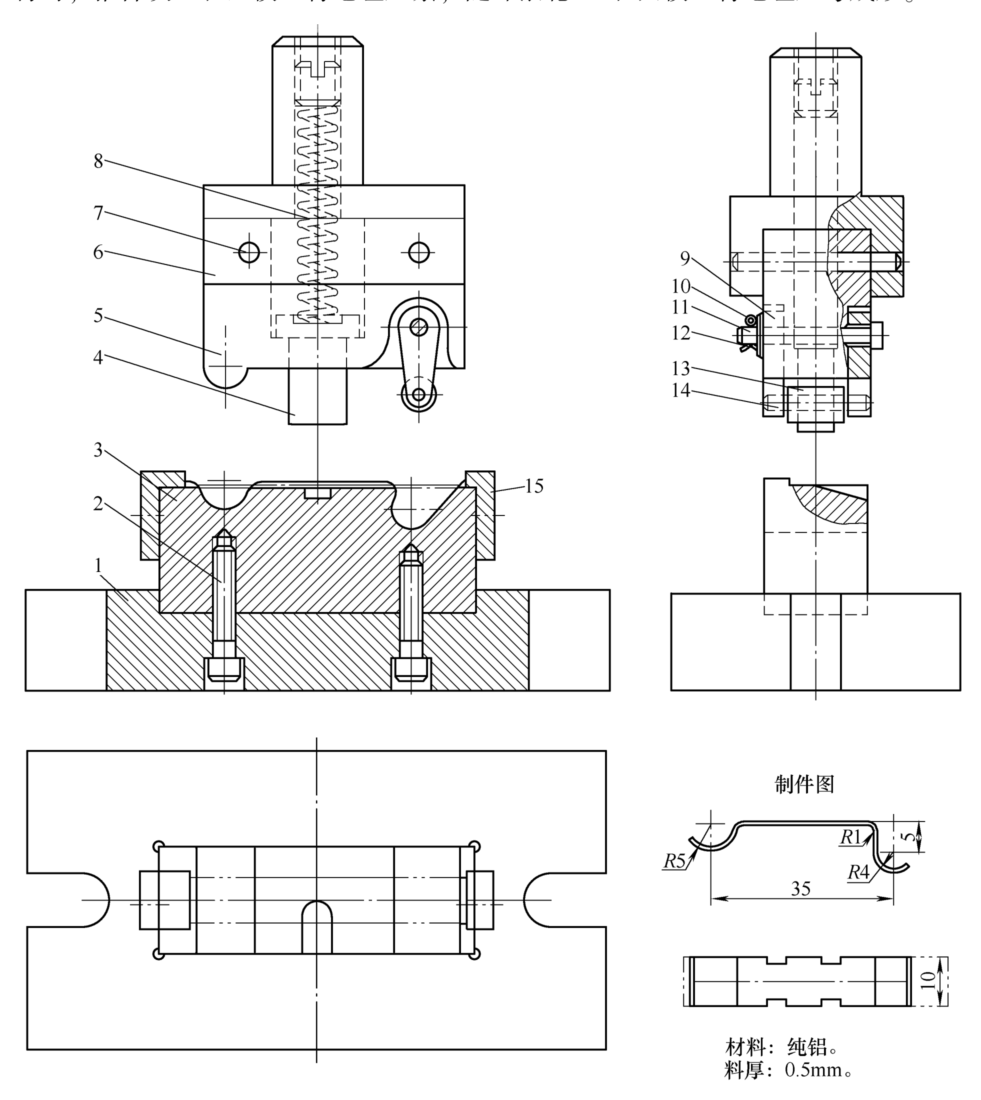


图 1-139　滑轮式弯曲模

1—下模座　2—螺钉　3—凹模　4—推件块　5—凸模　6—模柄　7、14—销　8—弹簧　9—摇臂　10—开口销　11—轴销　12—垫圈　13—滚轮　15—定位板

2. 滚轴式弯曲模

图 1-140 所示为滚轴式弯曲模，在凹模 6 中配以滚轴 5，两者之间的配合间隙为 0.02 ~ 0.04mm，滚轴上有一根拉簧 15 使之沿顺时针方向张紧。挡板 4 用于防止滚轴 5 移位。工作时，毛坯以定位板 14 定位。当压力机滑块下行时，凸模 12 将毛坯先压成 U 形，继续下行时，迫使滚轴沿逆时针转动，将毛坯压弯成所需形状。当压力机回程时，滚轴 5 在弹簧 15 的作用下反转复位，凸模 12 将弯曲件提起，用夹钳取下弯曲件即可。

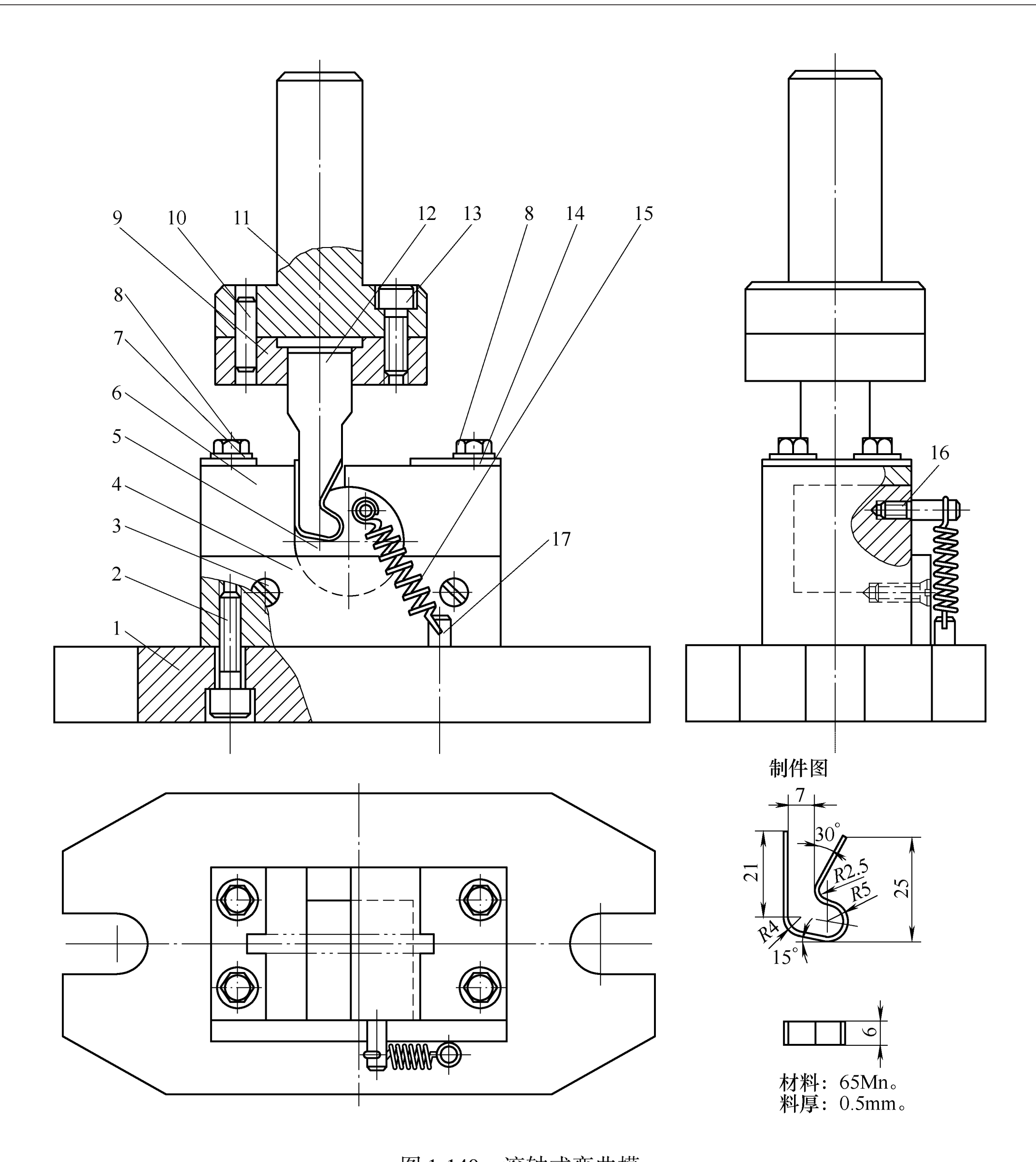


图 1-140 滚轴式弯曲模

1—下模座 2、3、8、13—螺钉 4—挡板 5—滚轴 6—凹模 7—垫圈 9—固定板 10—销 11—模柄 12—凸模 14—定位板 15—拉簧 16、17—拉簧销

3. 框形件一次弯曲模

图 1-141 所示为框形件一次弯曲模，毛坯放置于凹模 9 上定位，上模下行时，凸模 3 将毛坯弯曲成 U 形。上模继续下行，弹簧 2 被压缩，横向凸模 7 沿凸模 8 的工作面运动而被迫做横向移动，弯曲 c、b 圆弧。接着压块 5 压下摆块 4，弯曲 a 圆弧，行程终了对弯曲件有校正作用。

4. 下斜楔弯曲模

图 1-142 所示为下斜楔弯曲模。凸模 10 装在上模上，操作方便，冲压时，毛坯放入盖板 7 的槽中定位，凸模 10 与顶件块 8 夹紧毛坯一起向下，把毛坯弯成 U 形。上模继续下行，顶件块 8 与凹模座 4 接触，同时上模的螺钉 9 也与盖板 7 接触，推动凹模座 4、左滑块 5、右滑块 12 和盖板 7 一起向下运动。在左斜楔 6 和右斜楔 13 的作用下，使左滑块 5 和右滑块 12 向中心水平运

动，将制件弯曲成形。

5. 摆动凹模弯曲模

图 1-143 所示为摆动凹模弯曲模，毛坯放在顶件块 5 上，摆动凹模 6 与顶件块 5 在同一水平面上，毛坯上的孔套在导正销 3 上，并以定位销 4 定位。冲压时，凸模 2 和顶件块 5 将毛坯压紧，并一起下降，当顶件块 5 的台肩平面与摆动凹模 6 的台肩平面平行时，使左、右摆动凹模 6 绕芯轴 9 往中间转动，将毛坯压弯成形。当压力机滑块上升时，在弹簧 11 的作用下，顶杆 10 把左右摆动凹模 6 顶至原位，制件连同凸模一起上升，顶件块在弹顶器的作用下恢复原位。用工具取下制件。

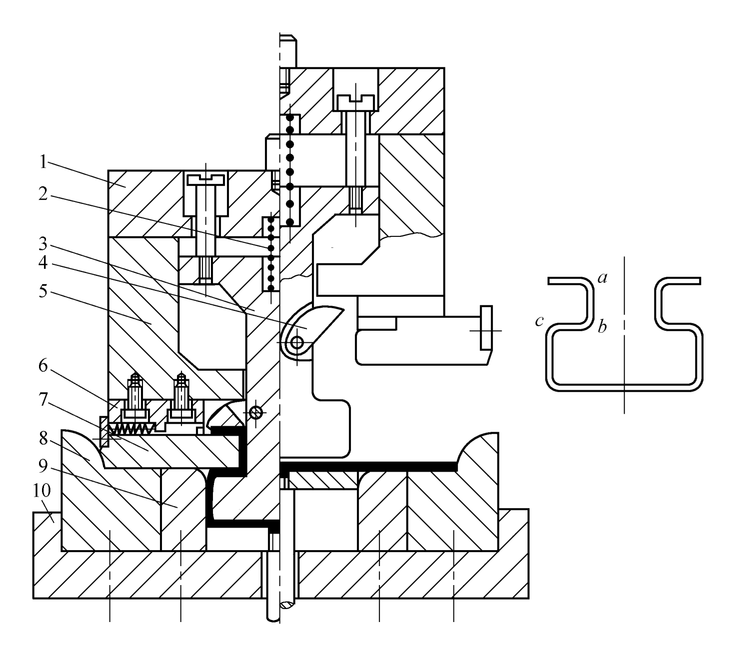


图 1-141　框形件一次弯曲模

1—上模座　2—弹簧　3—凸模　4—摆块　5—压块　6—调整块　7—横向凸模　8—凸模　9—凹模　10—下模座

六、冲裁、弯曲级进模

1. 冲孔、落料弯曲级进模

图 1-144 所示为大批量生产的电器用焊片，图 1-145 所示为排样图。图 1-146 所示为焊片冲孔、落料弯曲级进模，采用在落料工位上加顶出机构使冲压件落料后重新压入条料的方法，并采用一模两件直对排从中间分开的方法，简化了模具结构，提高了凹模强度；从落料向左第二工位压弯，向右第二工位冲孔切断。为提高生产率和节约冲压材料，采用单侧刃加挡料销定距，当用侧刃定距时，挡料销离条料搭边应有 0.02 ~ 0.03mm 的距离，以免挡料销影响侧刃定位精度。

（1）凹模　因制件尺寸不大，取孔边距 25 ~ 30mm 得外形尺寸，取标准为 16mm × 140mm × 140mm（图 1-147），因冲裁型孔按凸模配作，所以不必标注形状尺寸。

（2）卸料板　由于孔位和凹模及固定板一致，可不标注，卸料板如图 1-148 所示。

卸料板的凸台宽度等于侧刃冲裁后的条料宽度减去 1 ~ 2mm，即

$$B = 69.5\text{mm} - (1 \sim 2)\text{mm} = 68\text{mm}$$

由于卸料板主要起卸料作用，为防止冲压开始时卸料板只小部分压住条料，造成卸料板的倾斜而影响小凸模的稳定性，一般将卸料板的两台阶压在导料板上。卸料板下平面离被冲材料 0.02 ~ 0.03mm，一般由模具制造工装配时调整，因而凸台的理论高度等于导料板厚度减去材料厚度，即

$$H = 6\text{mm} - 0.6\text{mm} = 5.4\text{mm}$$

（3）凸模固定板（图 1-149）

（4）凸模长度的确定　以落料凸模（图 1-150）为标准长度，为保证落料后冲压件能可靠地压回到条料中去，落料凸模离凹模洞口 0.1 ~ 0.2mm，冲孔凸模进入凹模洞口 0.5mm，弯曲凸模必须将弯曲件推出凹模洞口，如图 1-151 所示。

落料凸模：$L = 58\text{mm}$。

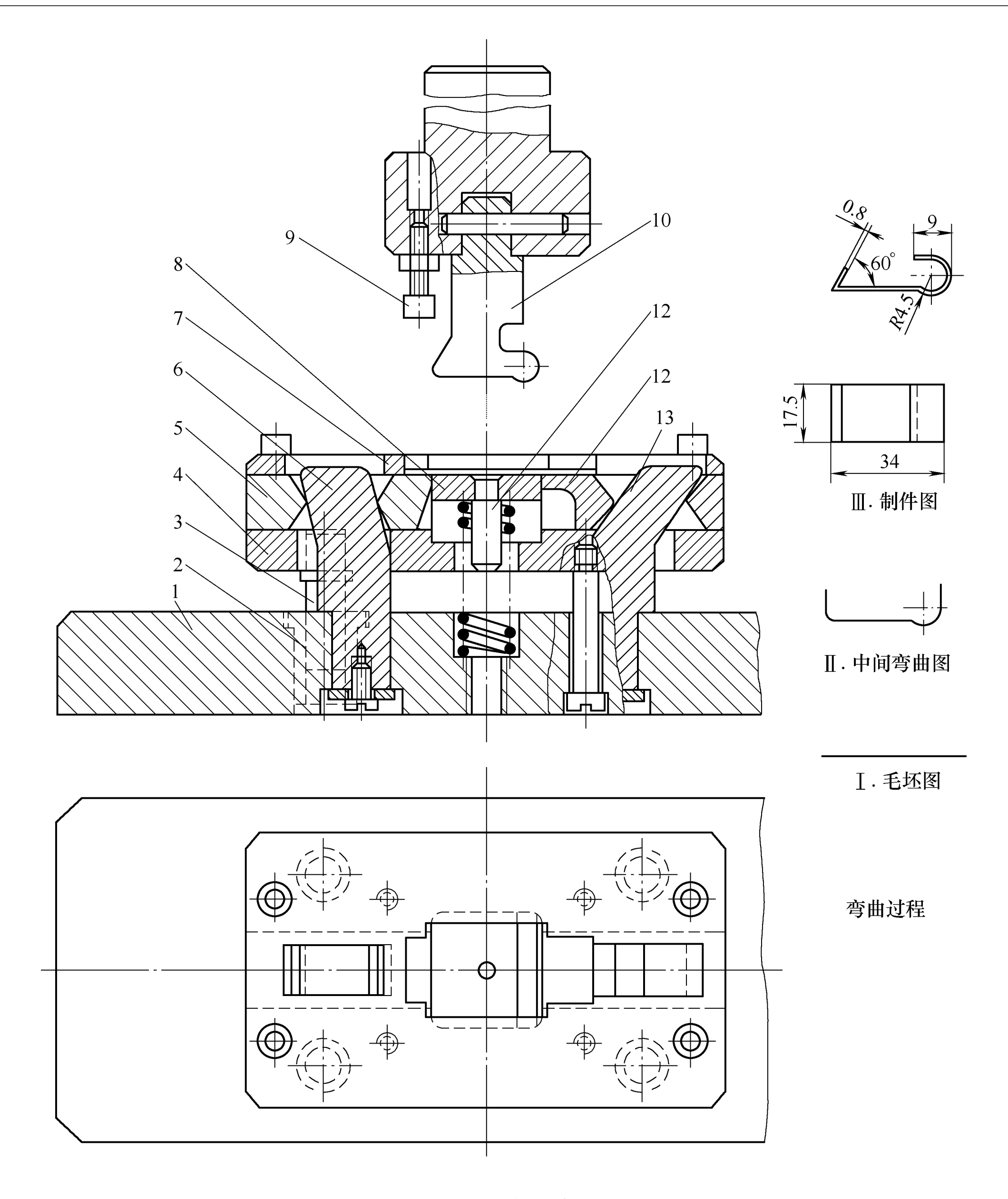


图 1-142　下斜楔弯曲模

1—下模座　2—小导套　3—小导柱　4—凹模座　5—左滑块　6—左斜楔　7—盖板　8—顶件块　9—螺钉　10—凸模　11—弹簧座　12—右滑块　13—右斜楔

冲孔、冲槽及侧刃：$L=58\text{mm}+0.2\text{mm}+0.5\text{mm}=58.7\text{mm}$。

弯曲凸模 $L=58\text{mm}+0.2\text{mm}+6\text{mm}+5.4\text{mm}=69.6\text{mm}$，取 70mm。

冲孔凸模如图 1-152 所示，冲槽凸模如图 1-153 所示，弯曲凸模如图 1-154 所示，其他零件如图 1-155 ~ 图 1-159 所示。

2. 冲孔、切断弯曲级进模

图 1-160 所示为冲孔、切断弯曲级进模，为保证第一个弯曲件不因无孔而报废，第一次送料时，凭经验将条料送到切断凹模 2 刃口以外约 1mm 的距离，当上模下行时，冲孔凸模 7 冲孔，同时切断凸模 19 切断 1mm 左右的料。以后各次送料将条料送到至定位块 20 处定位，当上模下

弯曲件图

材料：黄铜。
料厚：1.6mm。

图 1-143　摆动凹模弯曲模

1—模柄　2—凸模　3—导正销　4—定位销　5—顶件块　6—摆动凹模　7—模框
8—卸料螺钉　9—芯轴　10—顶杆　11—弹簧　12—下模座

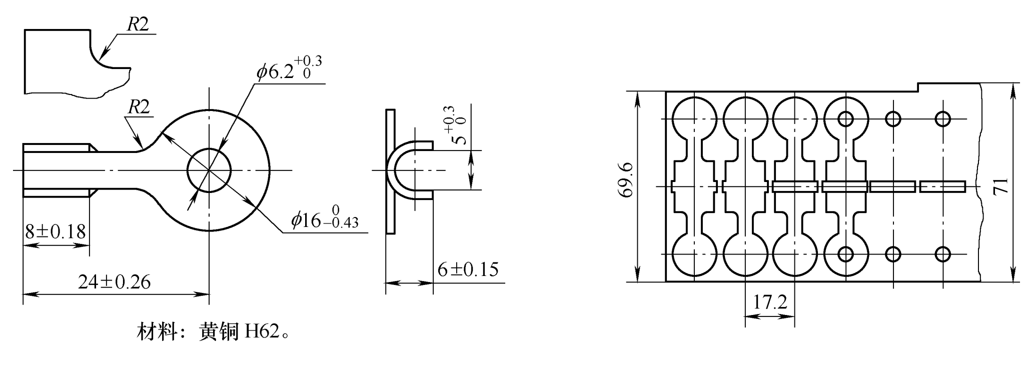
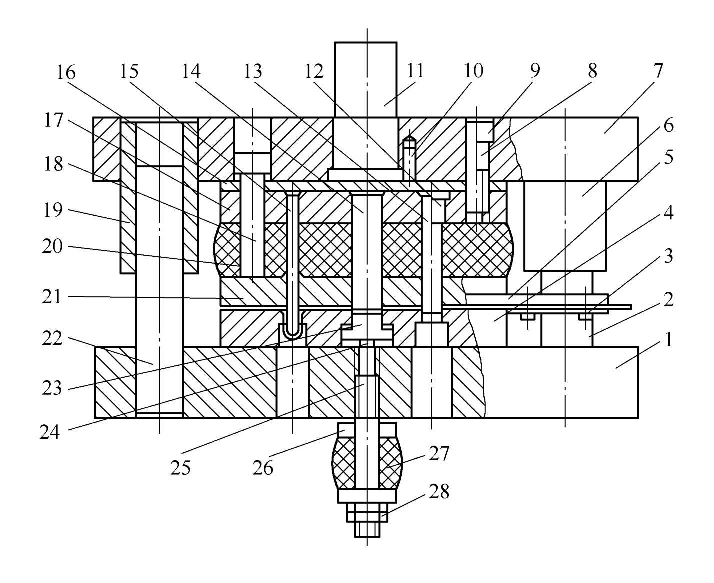


图 1-144　焊片　　　　图 1-145　排样图



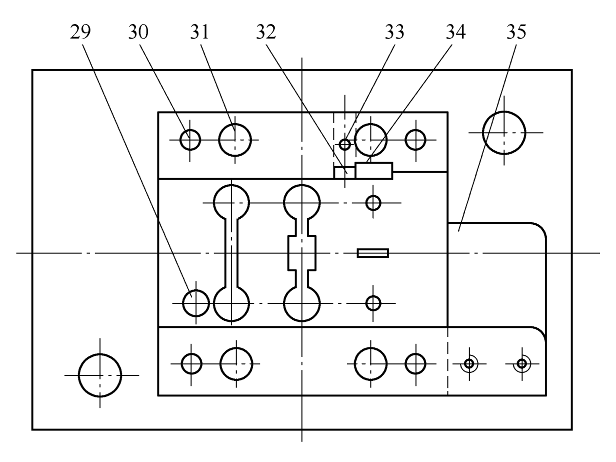


图1-146　焊片冲孔、落料弯曲级进模

1—下模座　2、22—导柱　3、9、25、31—螺钉　4—凹模　5—导料板　6、19—导套
7—上模座　8、10、30、33—销　11—模柄　12、13、14—凸模　15—弯曲凸模
16—垫板　17—凸模固定板　18—卸料螺钉　20、27—橡胶　21—卸料板
23—顶板　24—连接顶杆　26—支板　28—螺母　29—挡料销
32—侧刃挡板　34—侧刃　35—承料板

行时，冲孔凸模7冲孔，同时既是切断凸模又是弯曲凹模的凸凹模19将料切断，和凸模21将制件弯曲成形。

3. 推板冲裁弯曲级进模

图1-161所示为收录机机芯开门推板，图1-162所示为排样图，图1-163所示为推板冲裁弯曲级进模。

由排样图知：工位①冲 ϕ3mm 和导正销孔及压肋；工位②、③冲去制件带孔右边弯曲部分之外的余料及右边部分余料；工位④冲带孔的右边向上压弯；工位⑤为空位；工位⑥冲去制件左边弯曲部分之外余料；工位⑦冲制件左边向下弯曲；工位⑧冲制件的小头弯曲；工位⑨为空工位；工位⑩切除载体，分离制件。

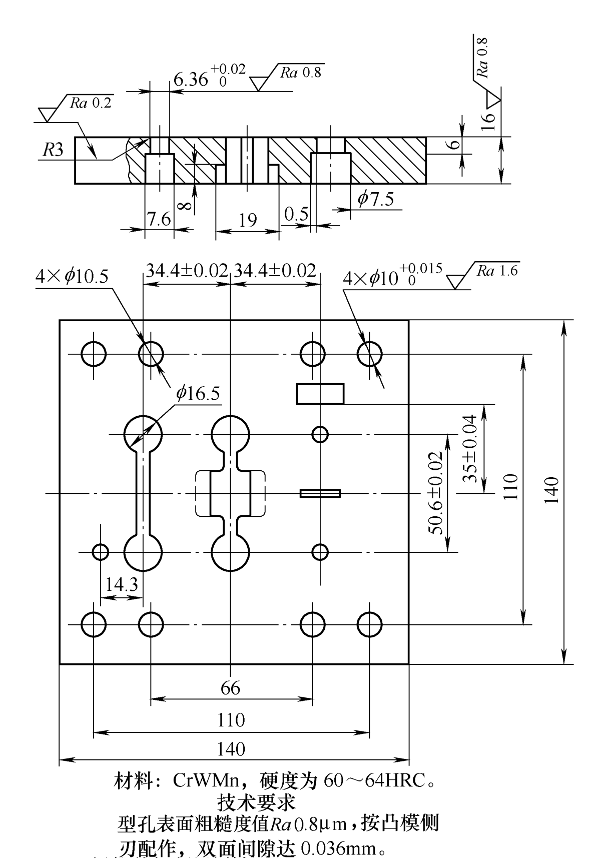


图 1-147　凹模

材料：45 钢。
技术要求
型孔表面粗糙度值Ra1.6μm,按凸模和侧刃配作,双面间隙小于 0.2mm。

图 1-148　卸料板

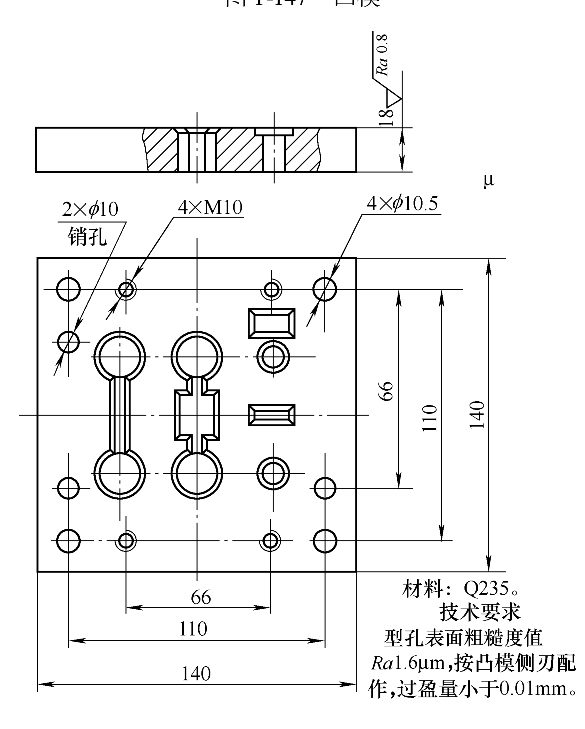
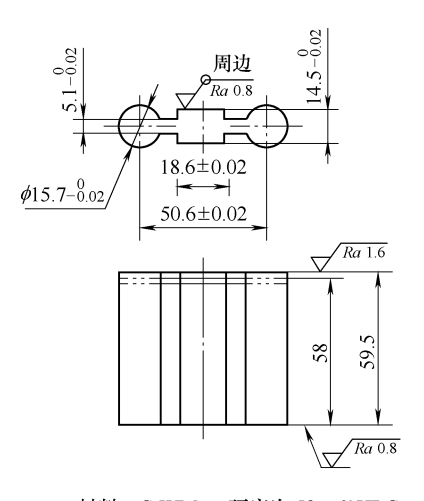


图 1-149　凸模固定板



材料：CrWMn，硬度为 58～62HRC。

图 1-150　落料凸模

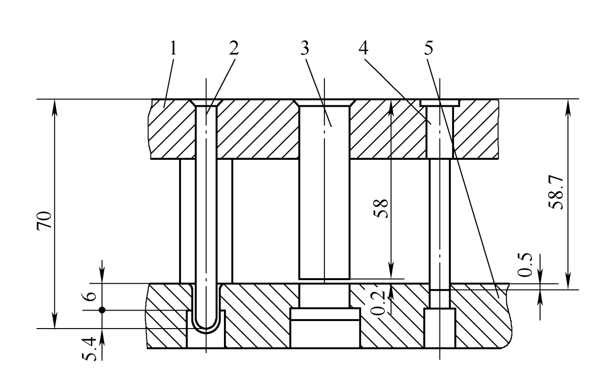


图 1-151　凸模长度确定

1—凸模固定板　2、3、4—凸模　5—凹模

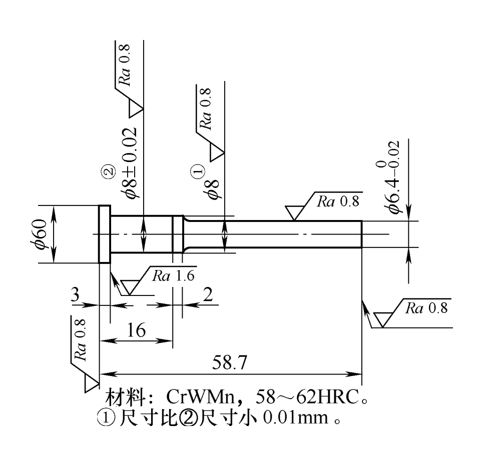


图 1-152　冲孔凸模

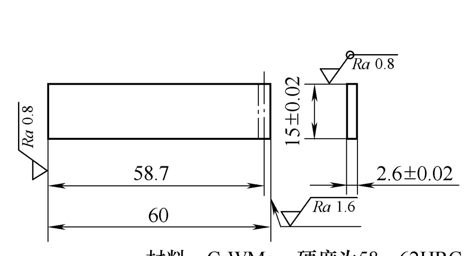


图 1-153　冲槽凸模

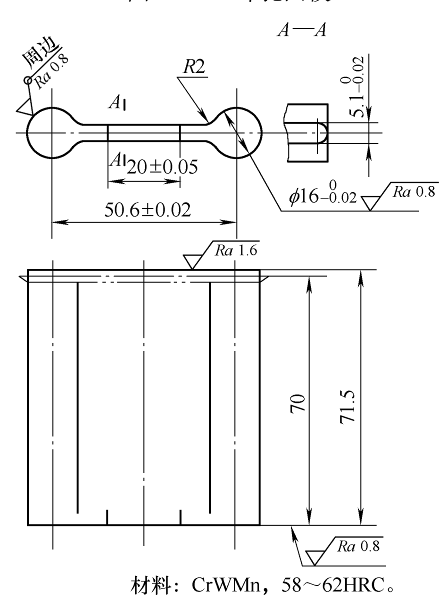


图 1-154　弯曲凸模

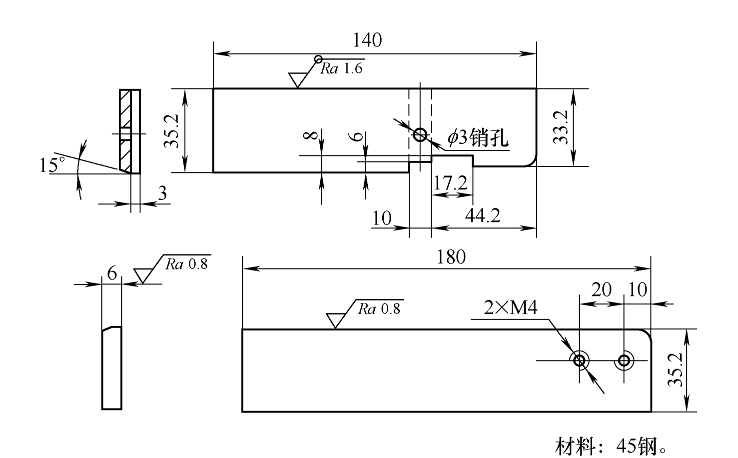


图 1-155　导料板

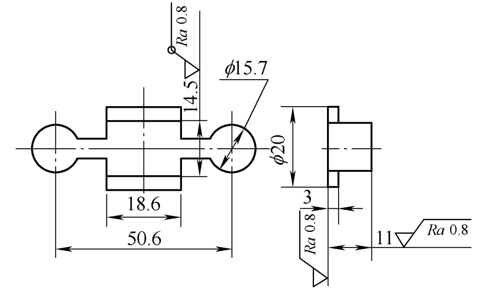
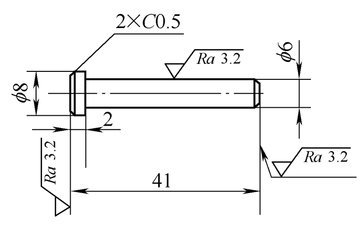


图 1-156　顶板

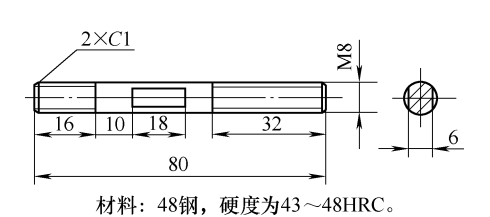
材料：CrWMn56 ~ 60HRC。

外形按凹模配，双面间隙 0.01 ~ 0.02mm。



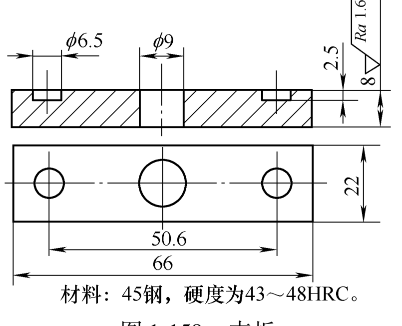
材料：45钢，硬度为43～48HRC。

图 1-157　连接顶杆



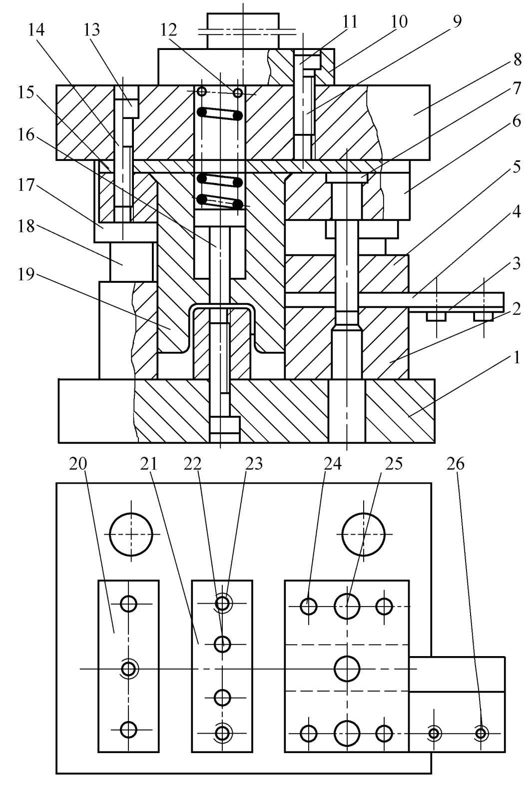
材料：48钢，硬度为43～48HRC。

图 1-158　螺杆



材料：45钢，硬度为43～48HRC。

图 1-159　支板



R2
14
1
25
24
φ10

零件图

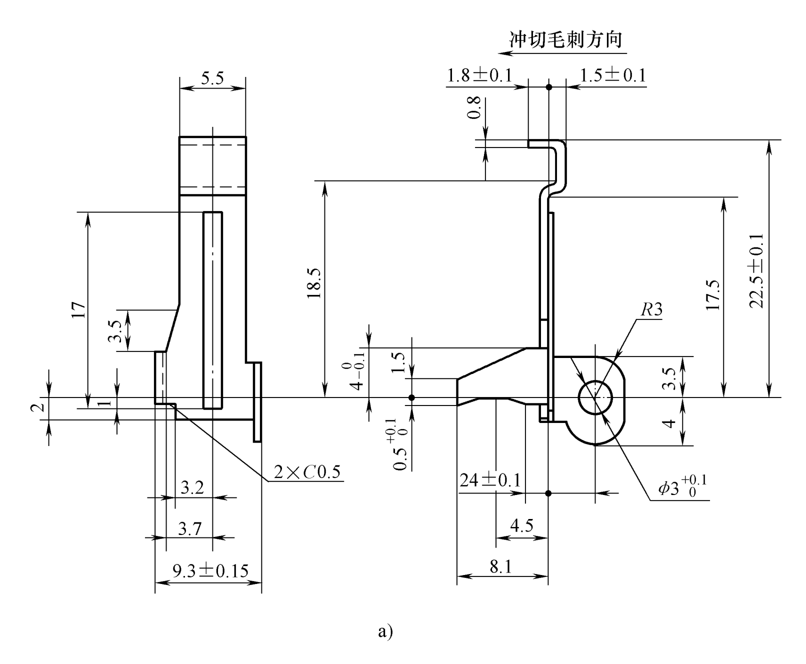
材料:Q235。

图 1-160　冲孔、切断弯曲级进模

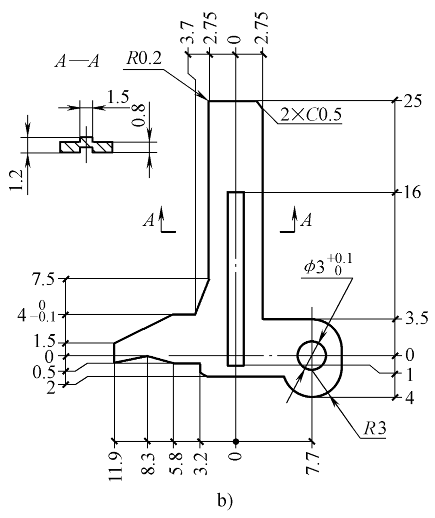
1—下模座　2—凹模　3—承料板　4—导料板　5—卸料板　6—固定板　7—冲孔凸模　8—上模座

9、13、23、25、26—螺钉　10—模柄　11、14、22、24—销　12—弹簧　15—垫板　16—推杆

17—导套　18—导柱　19—凸凹模　20—定位块　21—凸模



a)



b)

图 1-161　收录机机芯开门推板

a）制件图　b）展开图

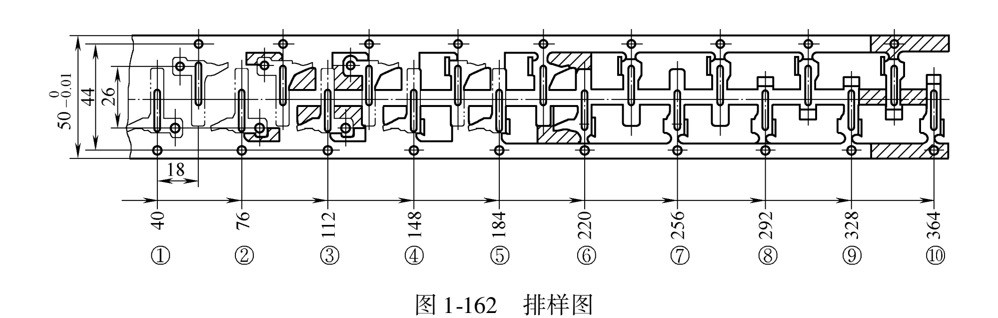
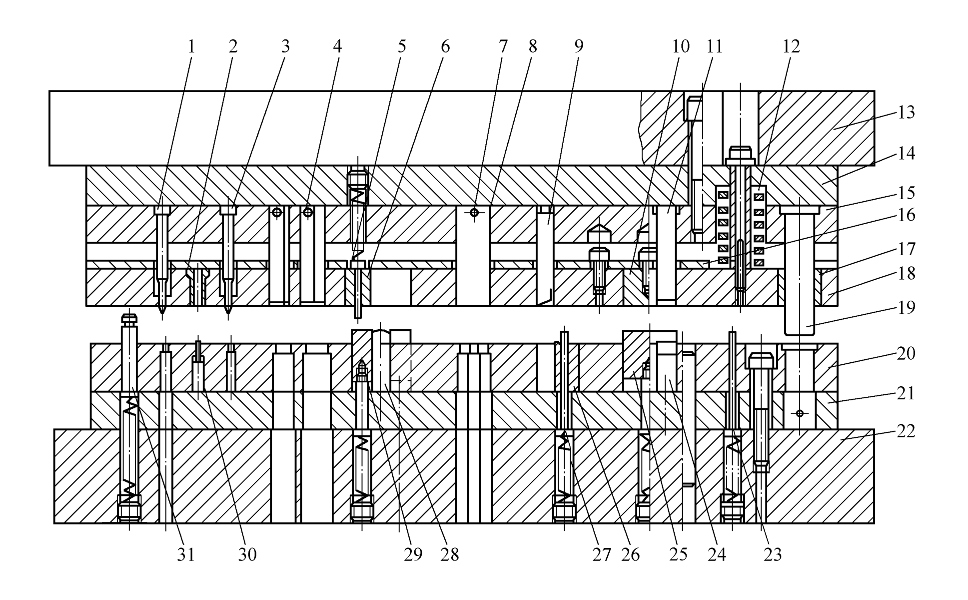


图 1-162　排样图



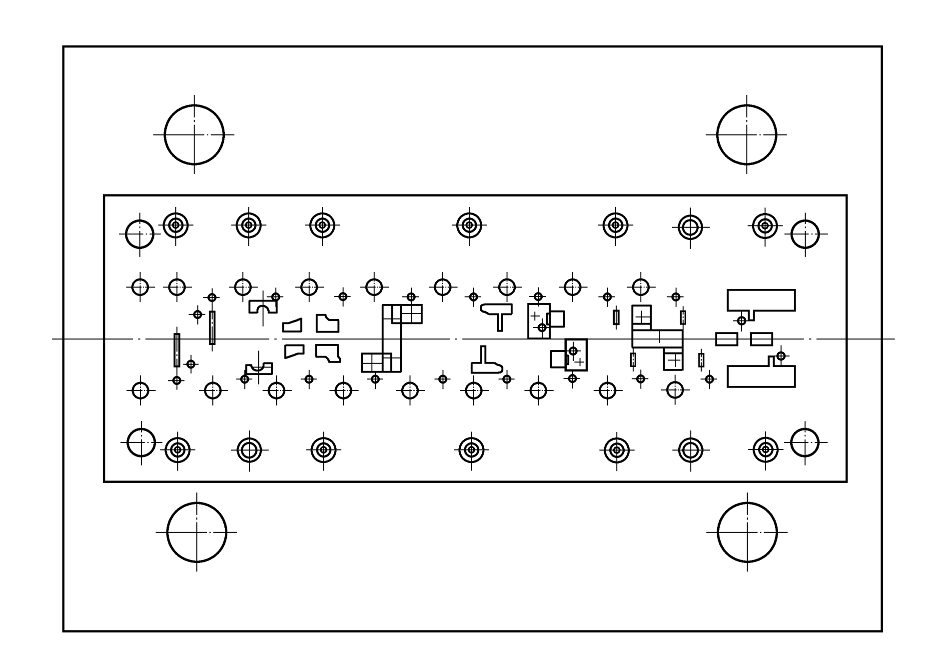


图 1-163　推板冲裁弯曲级进模

1、4、8—凸模　2—镶件　3—导正销　5、23、27—顶杆　6、10—上弯凹模　7—销
9、11—下弯凸模　12—强力弹簧　13—上模座　14—上垫板　15—凸模固定板
16—盖板　17—小导套　18—卸料板　19—小导柱　20—凹模　21—下垫板
22—下模座　24、26—下弯凹模　25、29—顶板　28—上弯凸模
30—压筋凸模　31—浮动导料销

本模具的主要特点如下：

1）采用整体凹模加必要的镶块结构，模具结构紧凑，质量轻，加工容易方便。凹模如图1-164所示。

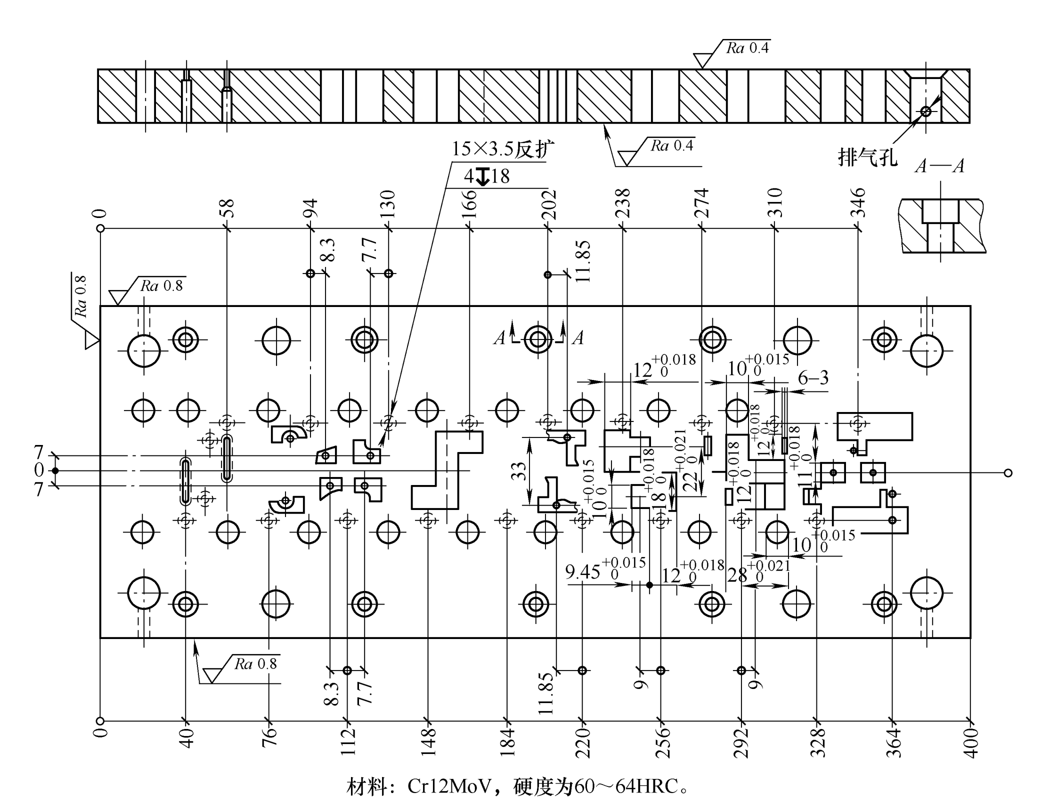


图1-164 凹模

2）采用4根导柱滚动导向模架，上、下模座用45钢制造，并经调质处理，硬度达31～35HRC，上、下模座厚度比普通模座厚10～20mm，因而模具强度和刚度较高，导向精度高，寿命长。

3）采用9对浮动导料销31对卷料进行导向送进。为确保卷料送进平稳，必须保证导料销导料槽的高度一致。

4）采用自动送料粗定距，导正销精定距，导正销如图1-165所示。

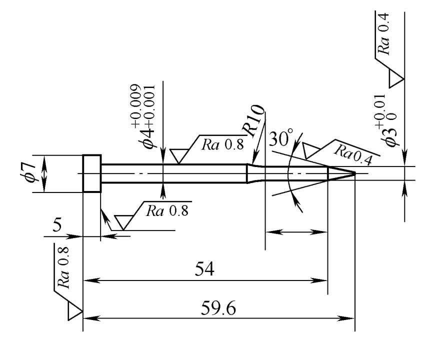


图1-165 导正销

5）凸模的固定采用多种形式，圆凸模1采用凸模固定板固定，异形凸模4、7采用线切割成直通式，在固定端穿销钉将凸模挂在固定板上，如图1-166所示。凸模7如图1-167所示，凸模9用螺钉吊紧在垫板14上，凸模11用凸台固定。

凸模4和7的尺寸标注方法适用于采用线切割加工凸模、凹模、卸料板、凸模固定板，既实用又方便。凸模和凸模固定板均采用0.02mm间隙配

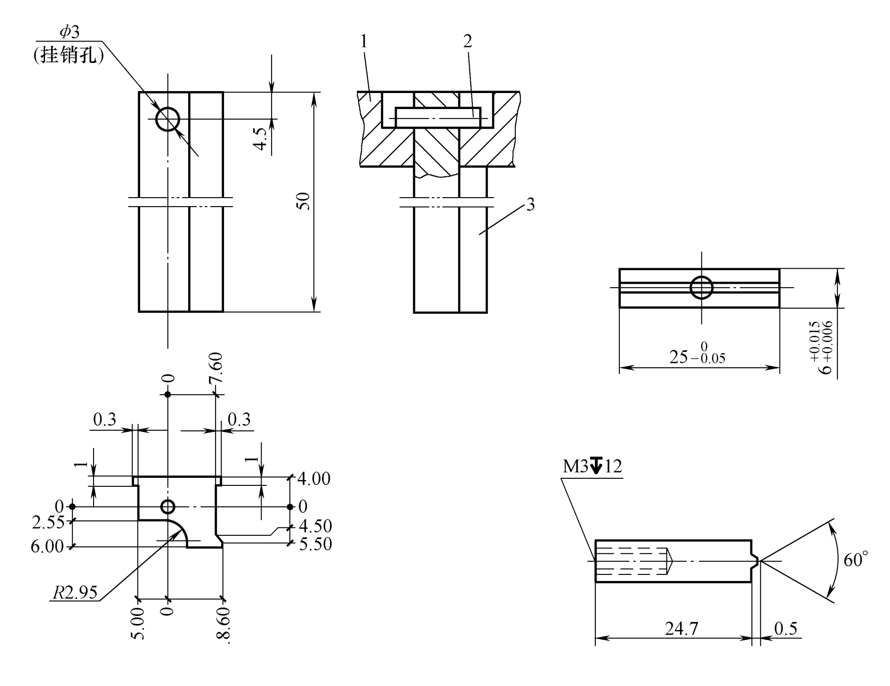


图 1-166　凸模（一）

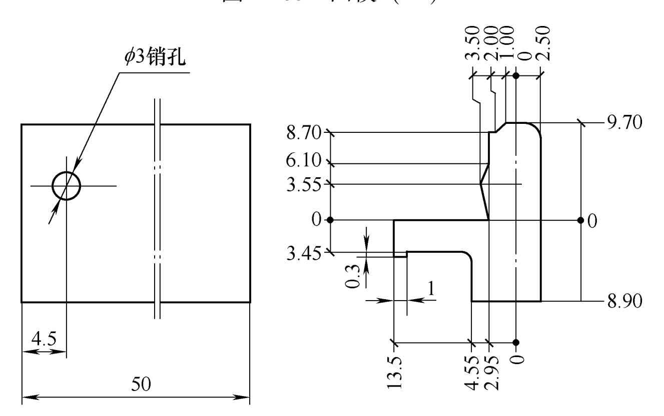


图 1-167　凸模（二）

合，靠卸料板导向。

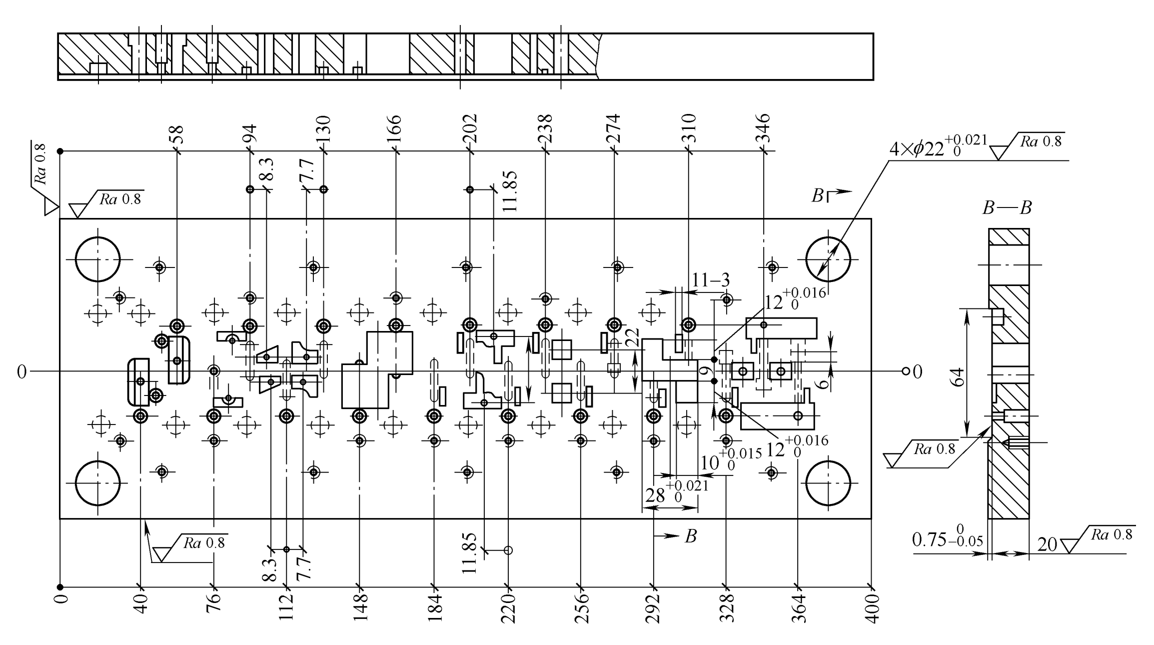
6）在凹模、卸料板、凸模固定板上设置 4 个小导柱导向，确保卸料板运动平稳。

7）卸料板采用 CrWMn 合金工具钢制造，硬度为 50 ~ 55HRC，卸料板不但起卸料和压料作用，更主要的是对凸模起良好的精密导向作用，型孔和凸模配合双面间隙小于 0. 01mm。另外，为防止开始送料时，由于卸料板局部压住卷料造成卸料板发生倾斜而影响导向精度，在压料处设置 60mm × 0. 75mm 的容料槽，卸料板如图 1-168 所示。

8）为确保弯曲件的质量，图 1-163 中的下弯凹模 26 设计成图 1-169 所示的结构形式，6mm × 1mm × 0. 1mm 为下弯用的肋。

4. 支架冲裁弯曲级进模

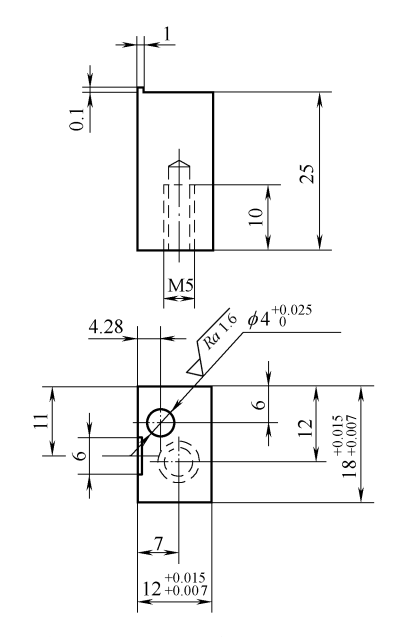
图 1-170 所示为支架零件图，图 1-171 所示为支架展开毛坯图，图 1-172 所示为工艺设计改进形式，图 1-173 所示为支架排样图，图 1-174 所示为支架冲裁弯曲级进模。



材料：CrWMn，硬度为50～55HRC。

技术要求
未注尺寸型孔按凸模配作，
双面间隙小于0.01mm。

图 1-168　卸料板



材料：Cr12MoV，硬度为 58～62HRC。

图 1-169　下弯凹模

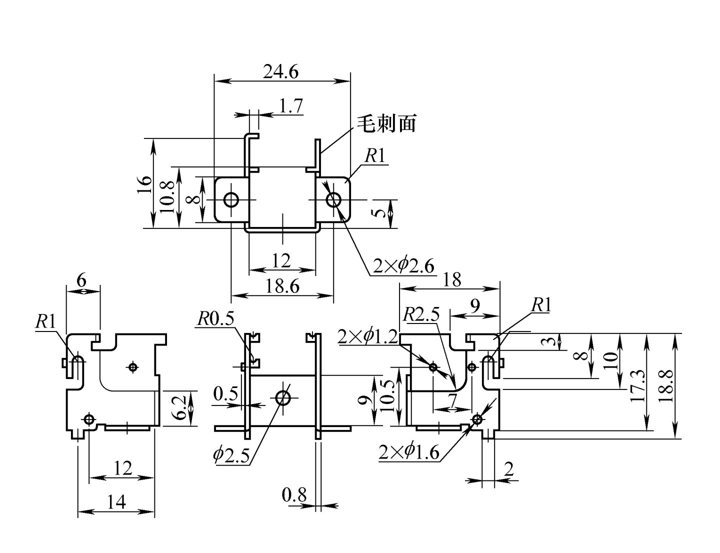


图 1-170　支架零件图

根据排样图，弯曲件采用双侧载体与中间载体的连接形式，最后弯曲件与载体分离只能采用平切的方式，如图 1-172a 所示。为避免连续冲裁，弯曲中因累积误差而形成如图 1-172b 和图 1-172c 所示的冲切缺陷，进行了工艺改进，即在弯曲件与载体的平切处增加了 4 个小工艺圆弧缺口，如图 1-172d 所示。工艺缺口分别在工位②、③、⑤中冲出。

由排样图知，工位①冲导正销孔及圆形孔，工位②～⑤冲切弯曲部分的外形、ϕ2.6mm 孔及 ϕ1.2mm 凸台，工位⑥为全部外形小弯曲成形，工位⑦为大弯曲成形，工位⑧为空位，工位⑨为弯曲件与载体平切分离。

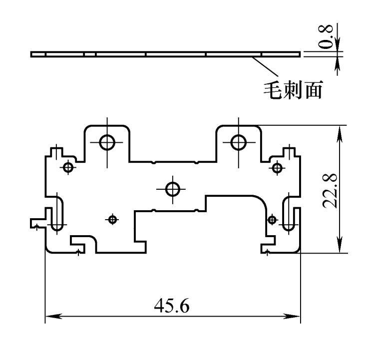
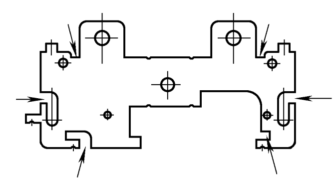


图 1-171　支架展开毛坯图



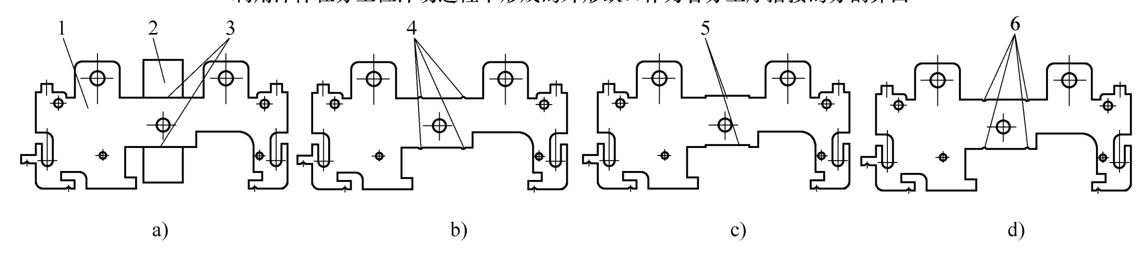


图 1-172　工艺设计改进形式

1—支架展开毛坯图　2—载体　3—冲位与载体分离搭接　4—最后工位弯曲件与载体分离时平切易产生毛刺　5—最后工位弯曲件与载体分离时平切易产生的外形错位　6—最后工位弯曲件与载体分离时平切处增加工序缺口的工艺改进

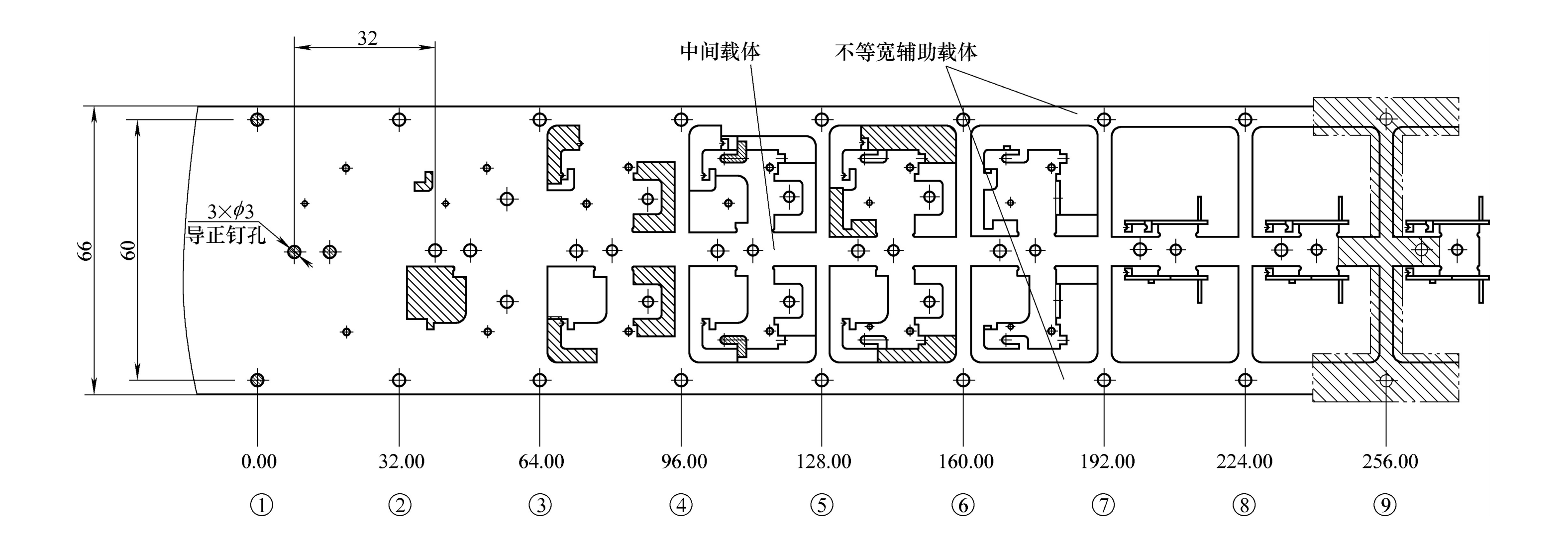
模具结构特点如下：

1）主要特点同图 1-163。

2）冲裁圆孔凹模，为保证加工、调整、更换方便，可采用镶套结构，其他冲裁采用整体凹模。

3）工位⑥有两个向下弯曲，三个向上弯曲。向下弯曲如图 1-174 主视图所示，向下弯曲成形凸模 11 以台阶形式固定在凸模固定板 61 上，而向下弯曲成形镶块 44 固定在凹模 56 上，在弯曲镶块内设置了弹顶杆 45，起压料和卸料作用。向上弯曲如图 1-174 中 *B—B* 剖视图所示，3 个向上弯曲小凸模 28、32、34 以台阶形式固定在凹模 56 上，并配以与凹模等厚的顶块 33。向上弯曲凸模的工作长度（即凸出凹模平面的实际高度）应大于或等于 2/3 弯曲件的弯曲高度，顶块 33 顶起的工作高度应高于弯曲凸模尺寸 1～2mm，但略低于卷料浮离凹模高度 2～3mm，以保证卷料和送料通畅。向上弯曲的凹模以成形镶块 26 的形式用台阶固定在卸料板 57 内，成形镶块的高度尺寸应与卸料板的厚度一致。

4）卸料装置一般采用弹压卸料装置，卸料板具有压紧卷料、凸模导向、保护细小凸模、弯曲件成形和卸下卷料 5 的作用。因此卸料板与凸模的配合精度要高，一般配合间隙在 0.005～0.02mm 之间。



32
中间载体
不等宽辅助载体
3×φ3
导正钉孔
96
60
0.00
32.00
64.00
96.00
128.00
160.00
192.00
224.00
256.00
①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨

图 1-173 支架排样图

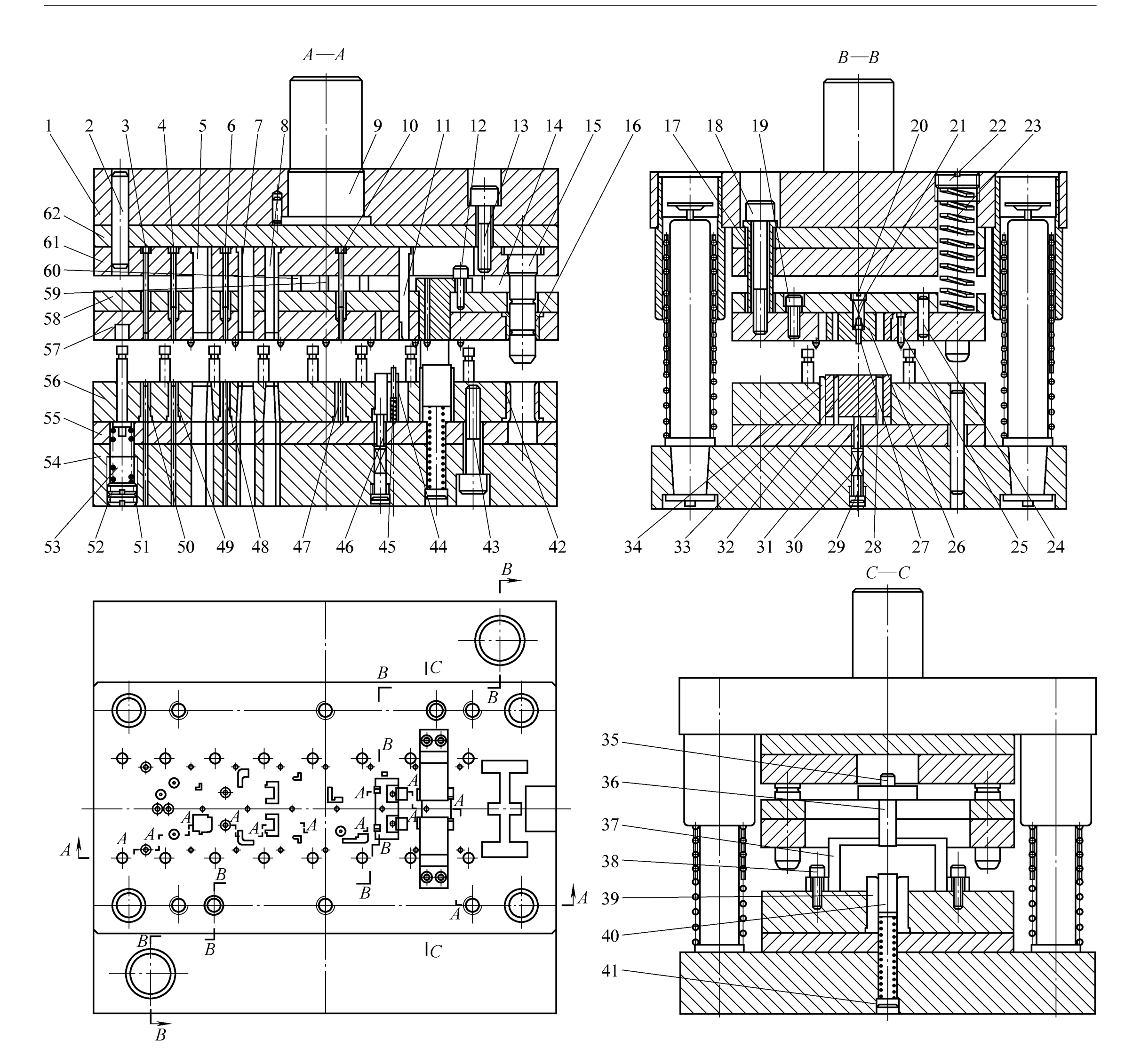


图 1-174　支架冲裁弯曲级进模

1—上模座　2、24—销　3—冲导正销孔凸模　4、6—冲孔凸模　5、7、8、59、60—局部外形冲切凸模　9—模柄　10—冲凸台凸模　11—向下弯曲凸模　12、13、18、19、35、38、43—螺钉　14—载体分离冲切凸模　15—导柱　16、42—导套　17—卸料套管　20、22、29、41、52—螺塞　21、30、46、53—圆形截面弹簧　23—矩形截面弹簧　25—导正销　26—成形镶块　27、31、45—弹顶杆　28、32、34—向上弯曲凸模　33、40—顶块　36—大弯曲成形凸模　37—大弯曲成形固定卸料架　39—大弯曲成形镶块　44—向下弯曲成形镶块　47—冲凸台凹模镶套　48、49、50—冲孔凹模镶套　51—带槽浮动导料销　54—下模座　55—凹模垫板　56—凹模　57—卸料板　58—卸料板垫板　61—凸模固定板　62—上垫板

在冲裁弯曲级进模中，因弯曲件形状复杂，有时需采用局部固定卸料的结构形式，以保证弯曲件的正常卸料及防止弯曲件在卸料过程中可能产生的变形。本冲模就采用在大弯曲工位采用局部固定卸料的形式，如图 1-174 所示。大弯曲成形后，弯曲件包紧在凸模上，如采用在大弯曲凸模 36 内设置弹顶杆卸料，弹顶力过大时，则可能在模具合模时造成卷料变形；弹顶力过小时，弯曲件又卸不下来。因此，采用如图 1-174 中 *C—C* 断面图所示的固定卸料架 37

最为合理。

5. 接线片冲裁弯曲级进模

图 1-175a 所示为接线片制件图，图 1-175b 所示为接线片展开毛坯图，图 1-176 所示为排样图，图 1-177 所示为接线片冲裁弯曲级进模。

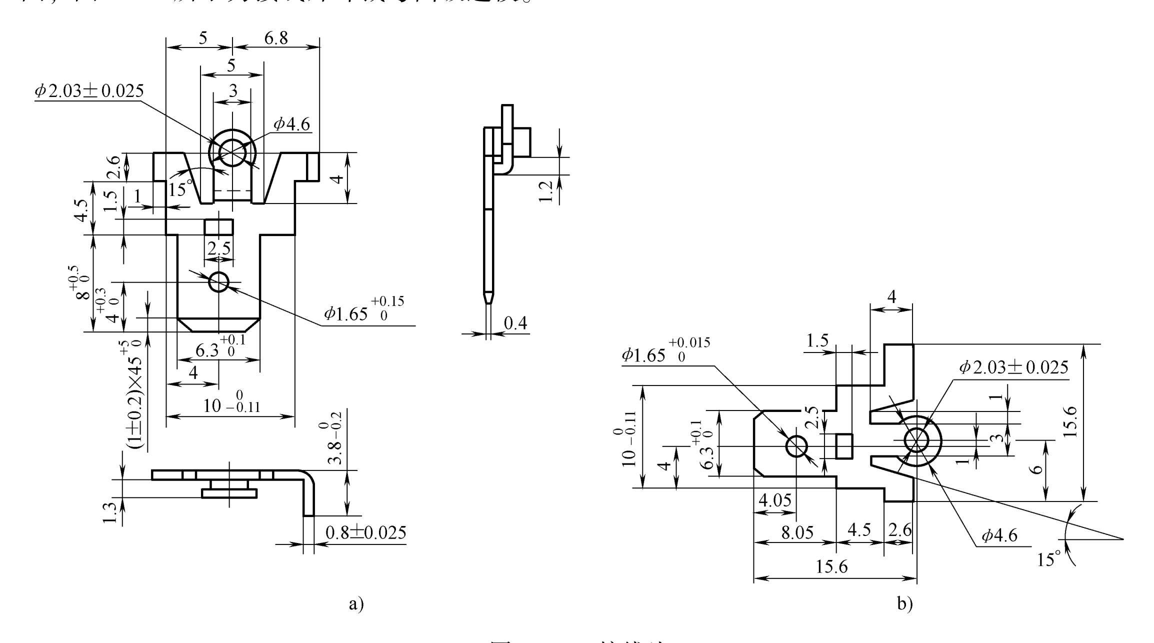


图 1-175　接线片

a）制件图　b）毛坯展开图

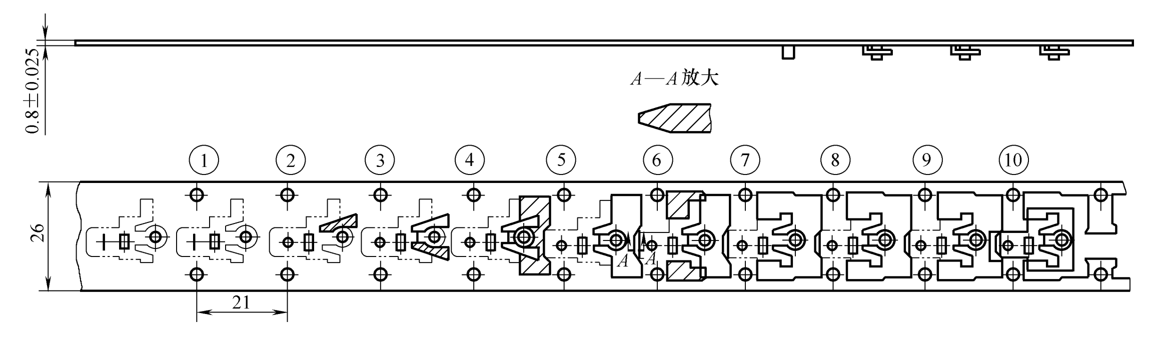


图 1-176　排样图

模具主要特点如下：

1）由于小凸模易损，采用了快速更换的安装结构，如冲孔凸模 37、39 损坏时，只要拆下上模座上的垫块 34、35，就可以从卸料板 68 向上推出小凸模，再装入备用小凸模，便可快速修理完毕。

2）导正销采用压圈的特殊结构，图 1-178 所示的导正销导向前起到压料作用，同时可防止导正销回升时卷料往上拉。通常导正销在卸料板下平面的有效导向部分有一定长度，当压力机滑块由下止点回升，卸料板开始离开条料时，导正销暴露在卸料板下面的有效导向部分还插在卷料的导正孔中；导正销随上模的回升将带动卷料一起回升，但此时卷料被导料板或浮动导料杆的台阶挡住，阻止带料的上升，从而引起导正销孔变形，这是正常生产所不允许的，如图 1-179 所示为普通导正销孔的变形。

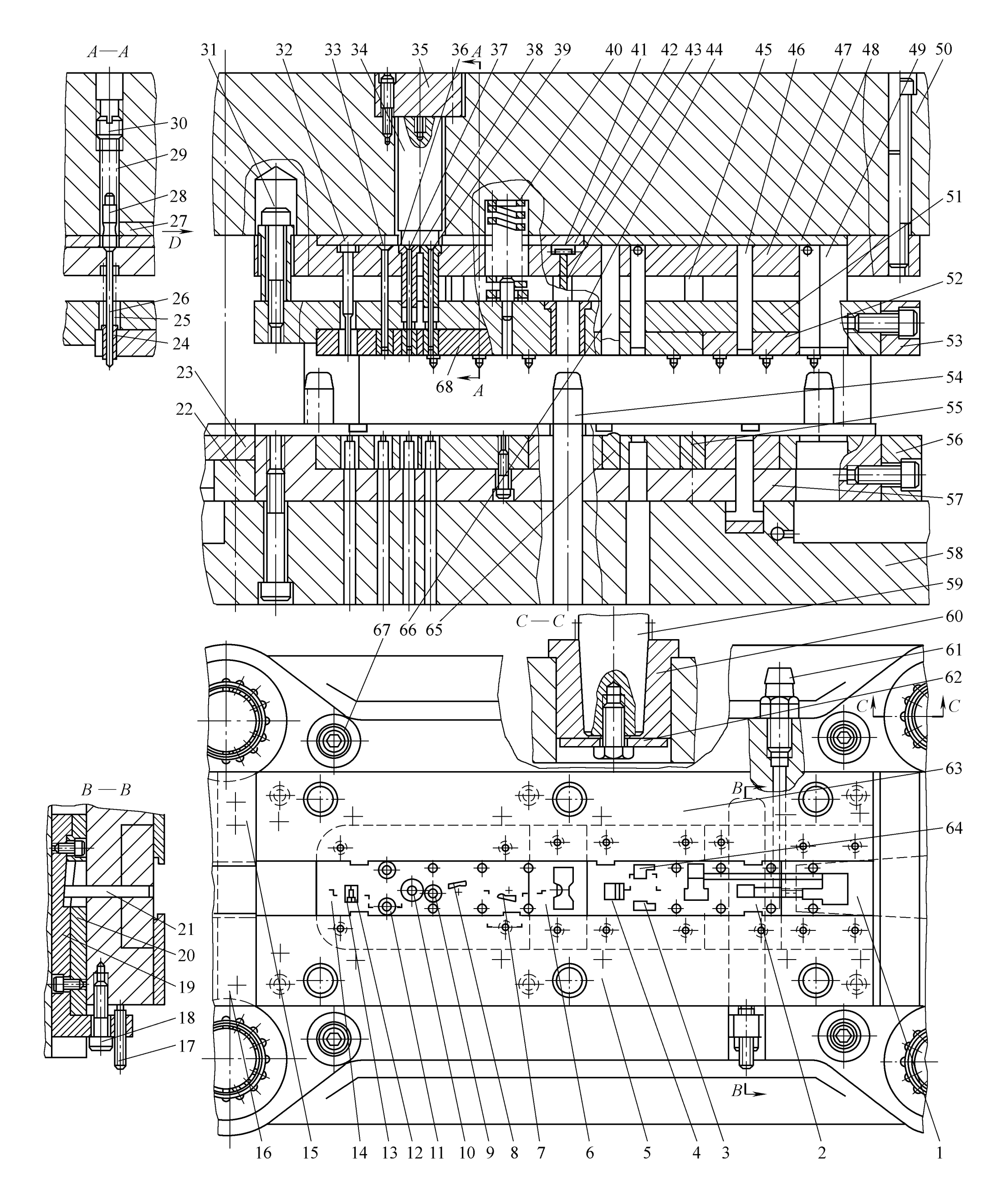


图 1-177　接线片冲裁弯曲级进模

1、2、4、6、14—凹模拼块　3、7、8、64—切料凸模　5、15、16、63—导料板　9、10、11、12、13—凹模镶件　17—紧定螺钉　18—螺钉　19、20—下凸模调整组合块　21—可调压弯下凸模　22—衬块　23—垫板　24—导正销压圈　25、29—弹簧　26—导正销　27—触片　28—弧形柱　30—螺塞　31—卸料螺钉组合件　32、33、37、39—冲孔凸模　34、35—块板　36、38—小凸模固定护套　40—矩形弹簧　41—销　42、48—垫板　43、49—切断凸模　44—小导套　45、46—凸模　47—固定板　50—上模座　51—卸料板　52、53—卸料板拼块　54—小导柱　55—压弯下模镶块　56—挡块　57—凹模板　58—下模座　59—滚动导向机构　60—导柱衬套　61—气嘴　62—垫圈　65—压肩下模镶件　66—压肩上凸模　67—限位柱　68—卸料板

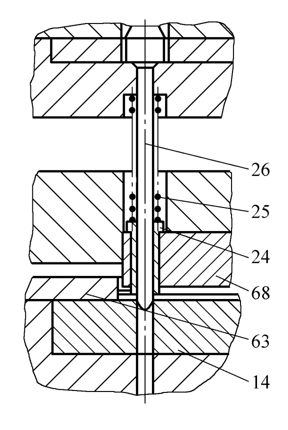


图 1-178　采用压圈的导正销

14—凹模　24—活动压圈　25—弹簧　26—导正销

63—导料板　68—卸料板拼块

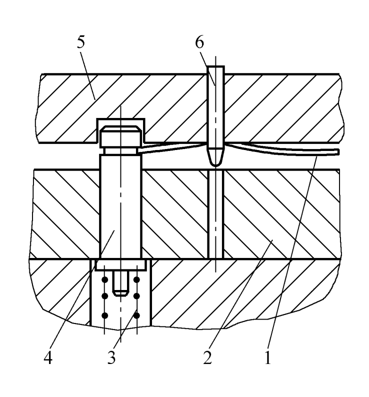


图 1-179　普通导正销孔的变形

1—卷料　2—凹模　3—弹簧　4—浮动导料销

5—卸料板　6—导正销

为消除这种缺陷，在图 1-178 所示导正销的外面套上一个带台阶的压圈 24，两者之间为间隙配合，压圈台阶上面有弹簧 25。当压力机滑块在上止点时，活动压圈平面比导正销的导向部分长出约 1. 5mm。当模具闭合时，活动压圈先压住卷料，导正销的有效导向部分再插入卷料的导正销孔中，卸料板将卷料压在凹模平面上之后，开始冲压。显然，这种导正销结构好得多。

3）弯曲部分采用微调结构，压弯的尺寸可以调整。如工位⑧，要求制件压弯成 1. 3mm，其中可调压弯下凸模的高度可调，如图 1-177 所示的 *B—B* 剖视图。它是由下凸模调整组合块 19、20 以及螺钉 18 和 17 组成。调整组合块 19、20 之间有一条带有斜度的滑槽，可调压弯下凸模 21 的一端与滑槽的斜面接触，通过调整螺钉即可实现微调。

4）使用安全保护装置，设在工位③一侧的导正销上，如图 1-177 所示的 *A—A* 剖视图。它由触片 27、弧柱形 28、弹簧 29、螺塞 30 及微动开关组成。当卷料没有送到位时，导正销没有插入或没有准确插入导正销孔中而被卷料顶起，则导正销 26 推动弧形柱 28，克服弹簧弹力向上移动，使触片 27 沿 D 向移动，触动微动开关，使压力机实现紧急停机，从而保护模具不受损坏。

5）卸料板 68 的导向结构中的小导柱 54 采用定位销与小导柱合二为一的结构。卸料板是由设置在凹模板 57 与下模座 58 的定位销的延伸部分作为小导柱 54 导向的，它既作为卸料板的导向，又作为凹模板与下模座的定位，简化了模具结构。

6）凹模和卸料板均采用镶拼式结构，便于加工和提高加工质量，凹模刃口工作高度为 3mm，便于落料。

6. 插头簧片冲裁弯曲级进模

图 1-180a 所示为插头簧片零件，图 1-180b 为插头簧片毛坯展开图，图 1-181 为排样图，图 1-182 为插头簧片冲裁弯曲级进模。

排样图共设置了 38 个工位，其有效工位 22 个，空工位 16 个，有效工位的加工内容为：①侧刃冲裁和冲导正销孔；②导正；③冲废料；④导正；⑤冲废料；⑥冲废料；⑦冲废料和导正；⑧压头部喇叭口、压倒角；⑨第一次弯曲及导正；⑩弯倒刺及导正；⑪第二次弯曲及导正；⑫第三次弯曲及导正；⑬头部整形及导正；⑭压凸；⑮冲废料；⑯第四次弯曲及导正；⑰第五次弯曲及导正；⑱整形及导正；⑲第六次弯曲及导正；⑳第七次弯曲及导正；㉑尾部整形及导正；㉒尾部压印及导正。

模具主要特点如下：

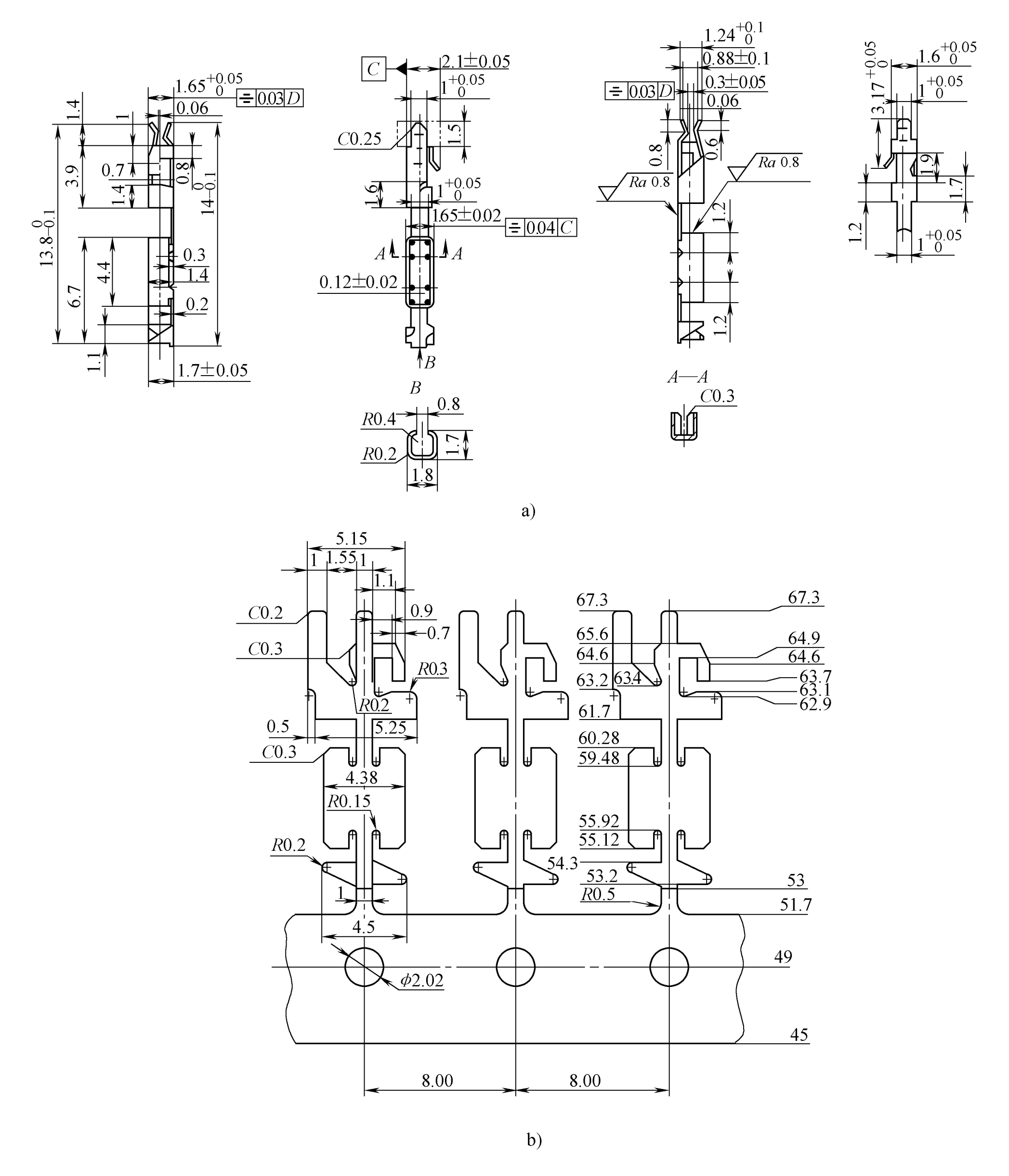


图 1-180　插头簧片

a）零件图　b）毛坯展开图

1）凹模采用镶块镶入凹模板中，易保证各工位型孔的位置尺寸高精度要求，各镶件单独加工，便于制造、调整和维修，提高了模具的使用寿命。凹模镶块采用低合金高强韧性冷作模具钢 6CrNiMnSiMoV（GD）钢，该钢的强韧性明显高于 CrWMn 和 Cr12MoV 钢，耐磨性高于 CrWMn 钢而低于 Cr12MoV 钢。热处理硬度为 58 ~ 63HRC。

2）大凸模采用直通式，小凸模采用镶套固定保护以增加强度和刚性，凸模采用 Cr12 钢，热处理硬度为 55 ~ 58HRC。凸模采用压板固定。

3）卸料板除起卸料作用外，还可同时将卷料压住，防止卷料在冲压过程中产生翻转和扭曲。为增加卸料板的稳定性，采用 4 个小导柱导套，小导柱与小导套之间的间隙为 0.001 ~ 0.01mm。卸料采用耐疲劳的强力矩形弹簧，确保卸料板的卸料力大且运动平稳。冲废料凸模用卸料板镶套保护，镶套用螺钉吊在垫板上，以防止镶套窜动。

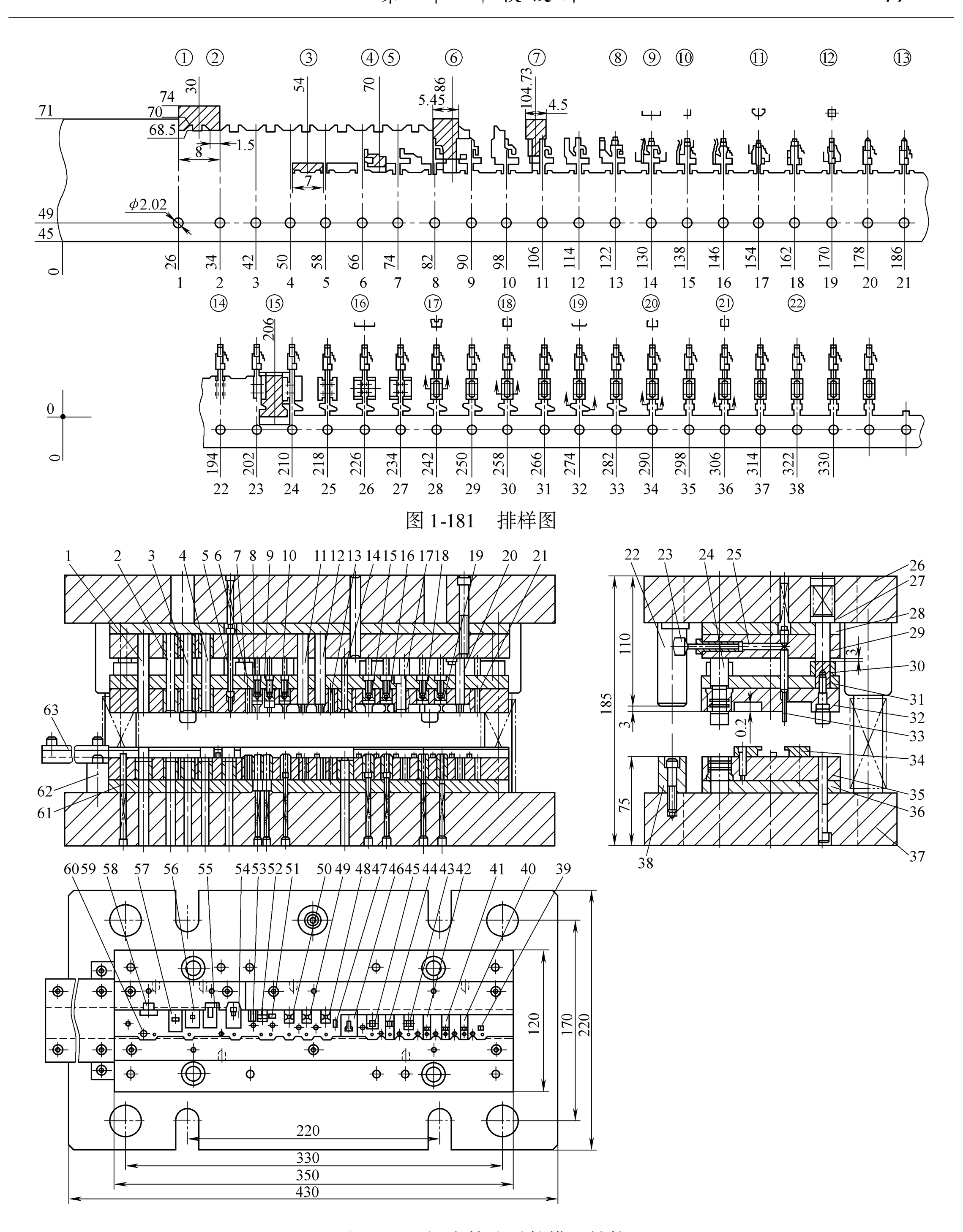


图 1-181 排样图

图 1-182 插头簧片零件模具结构

1—侧刃 2、3、4、5、14—冲废料凸模 6—导正钉 7、53—压喇叭口镶件 8、41、42、43、44、45、49、50、52—弯曲凹模镶件 9、10、11、15、16、18、19—弯曲凸模 12、20、40、48—整形凸模 13—压双凸模 17—弯曲整形凸模 21—压印凸模 22、38—限位柱 23—微动开关 24—小导柱 25—检测杆 26—上模座 27—卸料螺钉 28、31、36—垫板 29—固定板 30—定位套 32—卸料板 33—检测导正销 34—导料板 35—凹模板 37—下模座 39—压印镶块 46、54、55、56、57、58—冲废料凹模 47—压双凸凹模 51—弯倒刺凹模 59—冲孔凸模 60—冲孔凹模 61—抬料钉 62—支架 63—托料板

4）弯曲时，三次弯曲凸模 11，头部整形凸模 12，五次弯曲整形凸模 17 装在凸模固定板 29 上，其余全部装在卸料板 32 上，用螺钉吊在垫板 31 上，弯曲成形凹模内加弹顶器，防止簧片卡在凹模内。

5）模具中采用了自动保护装置，当卷料发生误送进等异常现象，导正销不能正常导正时可紧急停机，从而保护模具。为防止凸模由于形状各异、长短不一而易损坏，在上、下模之间以及上模固定板 29 和垫板 31 之间设置限位柱 22、38 和限位套 30。

7. 接线端子冲裁弯曲级进模

图 1-183a 所示为接线端子零件图，图 1-183b 所示其为排样图，图 1-184 所示为接线端子冲裁弯曲级进模。

排样图共设置 16 个工位，分别为：①～④冲孔切形；⑤打扁；⑥撕口压印；⑦切断压肋；⑧压弯打喇叭口；⑨中部压弯；⑩头部压弯；⑪～⑭尾部压弯；⑮为空位；⑯切断分离。在前 6 个工位采用双载体，利用两个 ϕ2mm 的工艺孔进行导正。

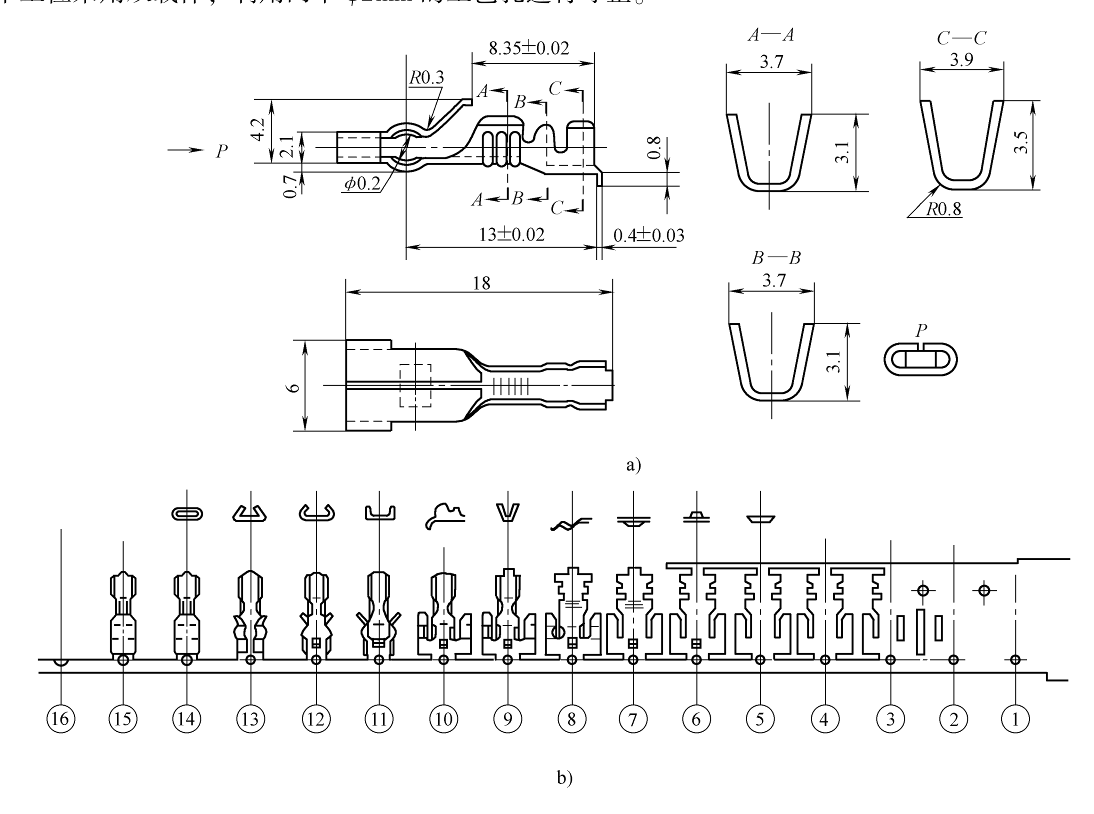


图 1-183　接线端子

a）零件图　b）排样图

模具主要特点如下：

1）采用四导柱滑动模架，在固定板、卸料板和凹模之间还安装 4 根小导柱作为辅助导向。

2）采用手工送料，带料在浮动导料销的导料槽中送进，利用定位块 30 控制送料步距。

3）中部 U 形弯曲结构如图 1-185 所示。

4）尾部框形弯曲采用逐步过渡，空压成形的方法，弯曲结构如图 1-186 所示。

5）凸模、凹模、镶块、卸料板均采用 Cr12MoV 钢，压标记镶块用 W6Mo5Cr4V2 高速钢，用纯铜电极打出凸字体。凹模、卸料板和固定板用慢走丝线切割机切割成形，4 个小导柱孔也一同

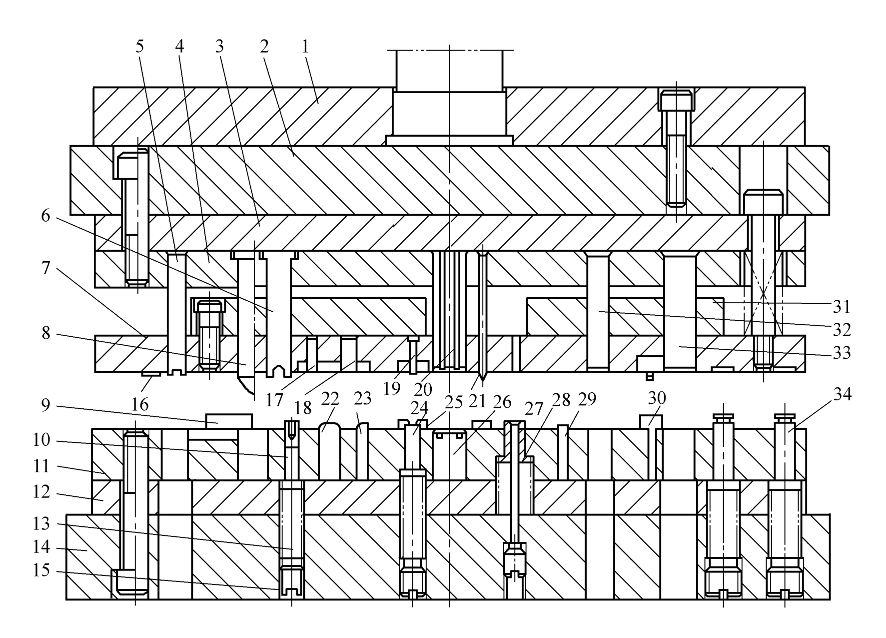


图 1-184　接线端子冲裁弯曲级进模

1—上模板　2—上模座　3—上垫板　4—固定板　5—切断凸模　6、16、17、18、19—压弯上模块
7—卸料板　8—小导柱　9—定位块　10—弹压导钉　11—凹模板　12—下垫板　13—弹簧
14—下模座　15—螺塞　20—组合压弯上模块　21—导正销　22、23—压弯下模块
24—顶出杆　25—压弯镶块　26—组合压弯下模块　27—撕开凸模　28—顶压套
29—打扁下模块　30—定位块　31—限位块　32—切形凸模　33—定距侧刃
34—导料销　35—压肋镶块　36—压标记镶块

切出，螺钉和销孔由钳工配制。

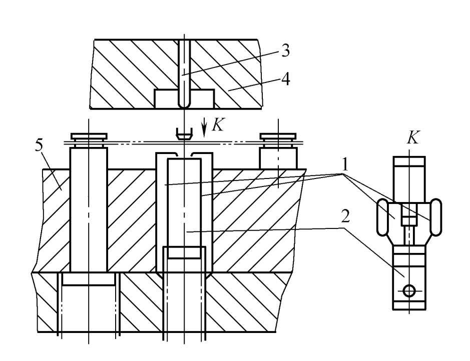


图 1-185　中部 U 形弯曲结构

1—压弯镶块　2—顶出杆　3—弯曲凸模
4—卸料板　5—凹模板

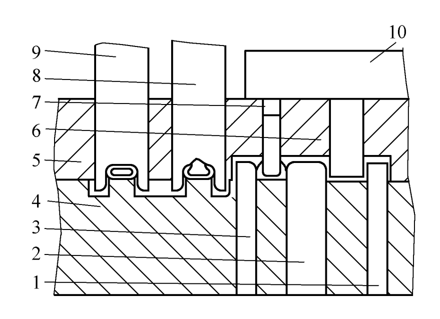


图 1-186　框形弯曲结构

1、2、3—压弯镶块　4—凹模板　5—卸料板
6、7、8、9—压弯凸模　10—限位板

8. 导电片冲裁弯曲级进模

图 1-187 所示为导电片零件图及毛坯展开图，图 1-188 所示为排样图，图 1-189 为导电片冲裁弯曲级进模。

排样图共设置了 25 个工位，分别为：①侧刃冲裁；②、③、⑦、⑨、⑩、⑫、⑭、⑯、⑰、⑲、㉑、㉓、㉔为空位；④冲 2 个 ϕ1.52mm 导正销孔；⑤冲 ϕ1.4mm 孔；⑥冲 3mm×1mm 长孔和压包 1.5mm×2.2mm×0.3mm；⑧冲裁废料为弯曲做准备；⑪切弯 3mm×1.8mm 孔，如图

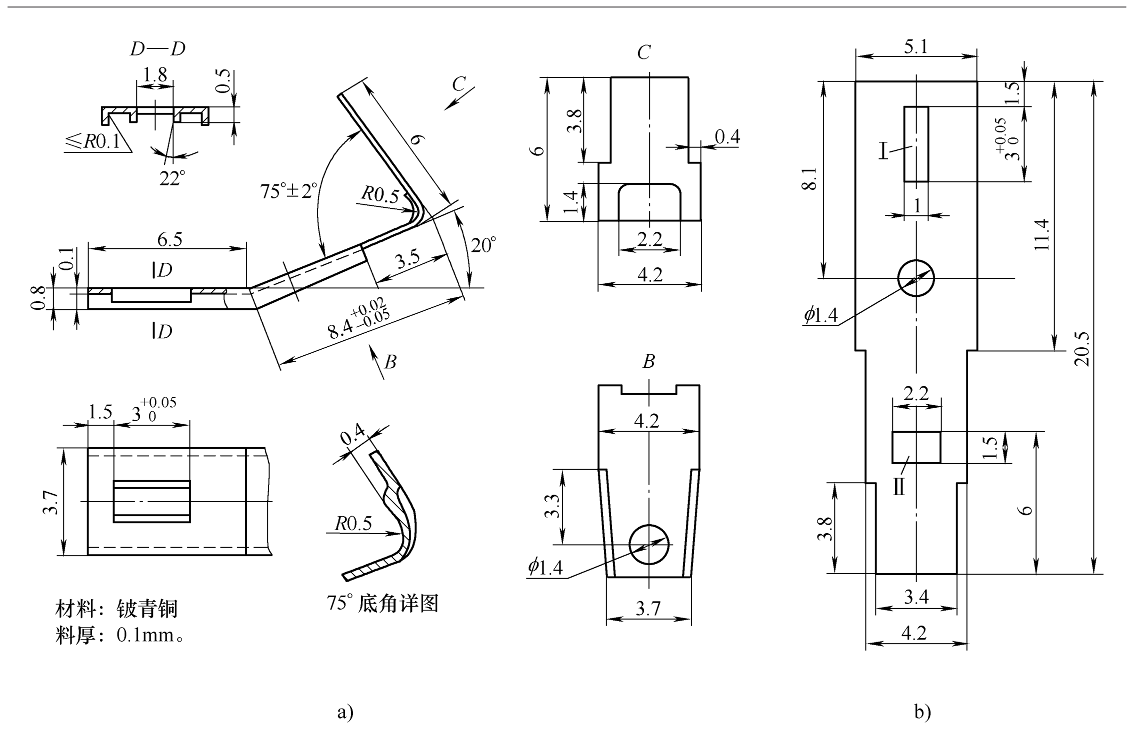


图 1-187　导电片

a）零件图　b）毛坯展开图

图 1-188　排样图

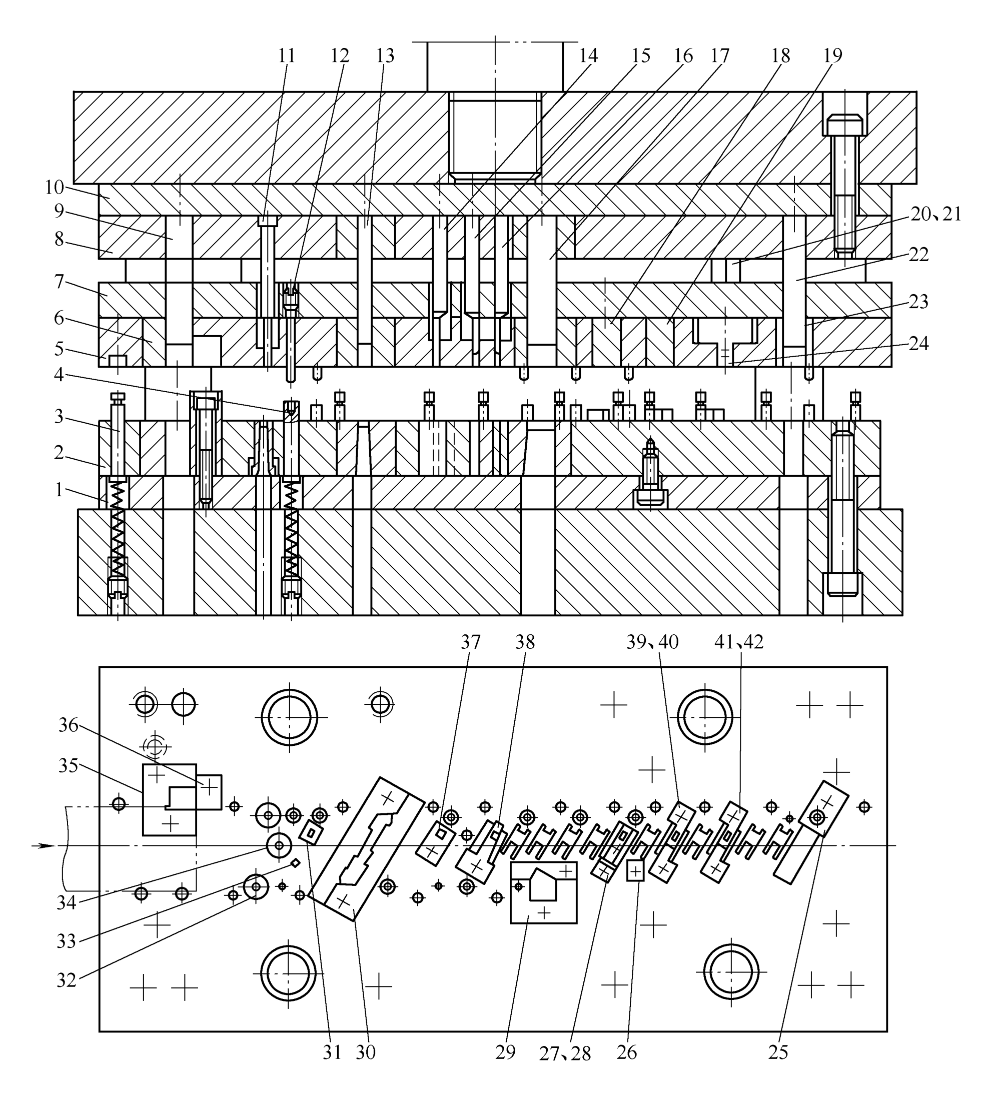


图 1-189　导电片冲裁弯曲级进模

1—凹模垫板　2—凹模　3—导料销　4—浮动抬料销　5—卸料板　6—卸料板侧刃孔镶块　7—卸料板垫板　8—凸模固定板　9—侧刃　10—垫板　11、13、14、15、16、17—凸模　12—导正销　18、19—压弯凸模　20—斜楔　21—终成形凸模　22—切断落料凸模　23—镶块　24—成形滑块　25—落料凹模镶块　26—限位镶块　27、28—压弯凹模镶块　29—单边切断凹模镶块　30、31、32、33、34、37、38、39—凹模镶件　35—凹模侧刃孔镶件　36—侧刃挡块　40、41、42—弯曲镶块

1-187所示 *D—D* 剖视图；⑬压弯两边，保证两边 0.8mm 高度一致；⑮切断载体为弯曲做准备；⑱将 75°端弯成 90°；⑳将 8.4mm 长度的 20°弯曲成形；㉒将 75°和 20°的角度通过整形达到要求；㉕单边切断，使弯曲件从凹模孔中漏下。

模具主要特点如下：

1）采用四导柱滚动导向模架，上、下模座采用加厚的 45 钢，经调质处理后硬度达 31 ~ 35HRC，因此强度和刚度高，导向精度高，寿命长。

2）固定板 8 采用 CrWMn 合金工具钢制作，热处理硬度为 50 ~ 55HRC，卸料板 5 和凹模 2 采用 Cr12MoV 合金工具钢制造，热处理硬度为 55 ~ 60HRC。

3）气动送料器自动送料，侧刃做初定位，多个导正销做精定位，侧刃的主要特点是不会因为磨损而影响送料精度。

4）模具所有冲裁与成形部分均采用镶拼式结构，当刃口磨损或需更换时，只需拆下镶块局部而不用拆整副模具，对模具的调整和维修较方便。凹模刃口采用双斜度结构，如图1-190所示。凸模和凹模镶块采用Cr12MoV或W6Mo5Cr4V2钢制造，热处理硬度为62～64HRC。

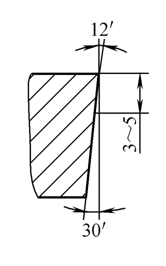


图1-190　凹模刃口

5）凸模和固定板采用0.01～0.015mm间隙配合，并用螺钉吊在垫板10上，凸模和凹模的相对位置主要靠卸料板的精确导向保证。凸模和卸料板之间的双面间隙不大于0.01mm。

6）除模架导向外、固定板、卸料板和凹模之间又设置四个小导柱导向。

7）凹模、固定板、卸料板上的各型孔、导柱孔、导正销孔、定位销孔选用精密慢走丝线切割加工，并采用四次切割加工成形。

8）为了将卷料浮离凹模表面送进，采用了多个浮动抬料销4和浮动导料销3，合理的卸料板沉孔深度如图1-191所示。应保证$L \leqslant c+H+h$。

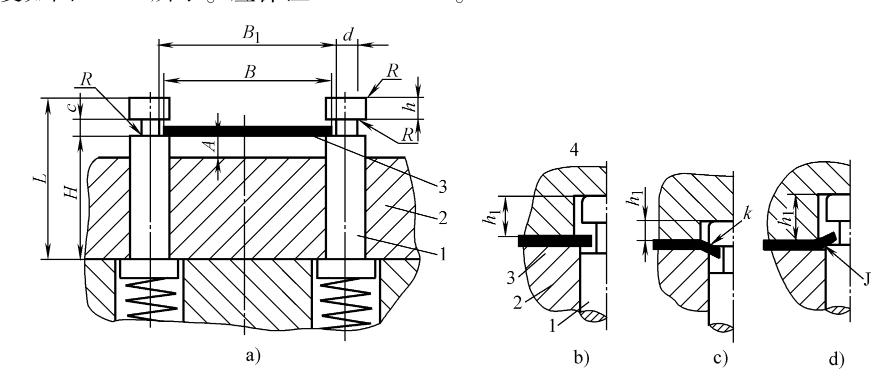


图1-191　浮动导料销及其头部与卸料板沉孔深度之间的关系

a）压力机滑块在上止点时浮动导料销　b）卸料板沉孔深度正常

c）卸料板沉孔深度太浅　d）卸料板沉孔深度太深

1—浮动导料销　2—凹模　3—带料　4—卸料板

9. 安装板冲裁、成形、弯曲级进模

图1-192所示为安装板零件图，图1-193所示为排样图，图1-194所示为安装板冲裁、成形弯曲级进模。

排样图共设置10个工位，分别为：①冲导正销孔，预压窝；②冲翻边预孔、压窝倒角；③局部外形冲切冲两个安装孔；④局部外形冲切、翻边、压接地标记；⑤局部外形冲切；⑥局部外形冲裁，向上弯曲成形；⑦向下弯曲成形；⑧向上弯曲成形；⑨大弯曲成形；⑩弯曲件与载体冲切分离。

模具主要特点如下：

1）模具采用四导柱滚动导向模架，上、下模座采用加厚的45钢，经调质处理后硬度达31～35HRC，因而强度和刚度高，导向精度高，模具使用寿命长。

2）因凹模面积较大，因而将整体凹模由10个冲压工位分解成5个模块冲压单元，精加工后拼合而成，便于加工、刃磨、调整和维修。本模具为模块式凹模围框式固定，将模块凹模9、10、11、16、24和左镶块8、右镶块25精加工后固定在围框1、89内，围框用螺钉和销固定在下模座34上。

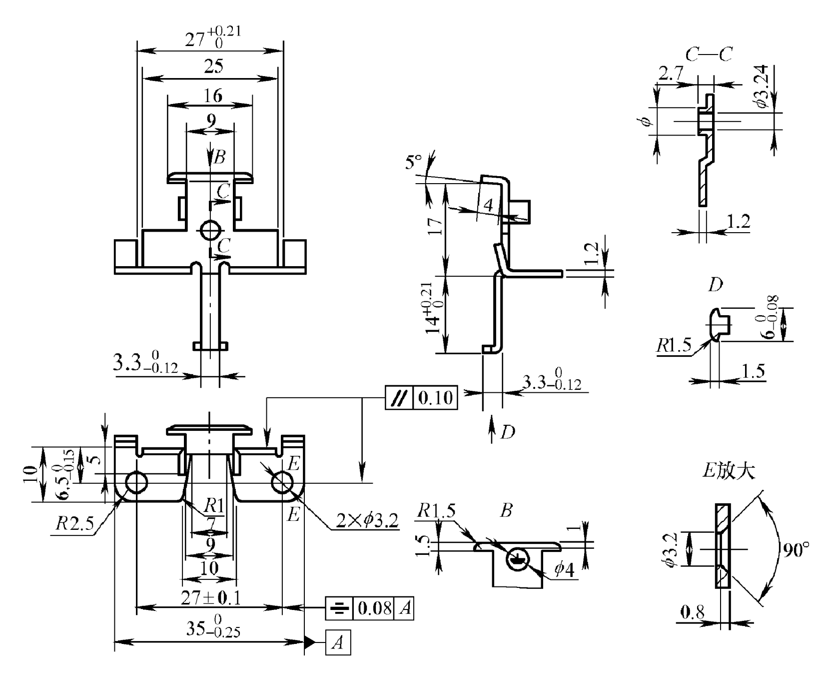


图 1-192 安装板零件图

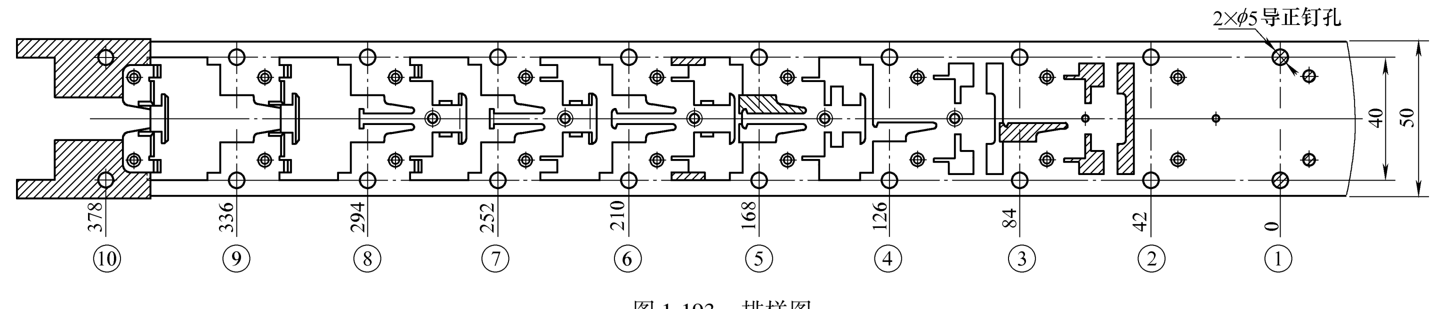


图 1-193 排样图

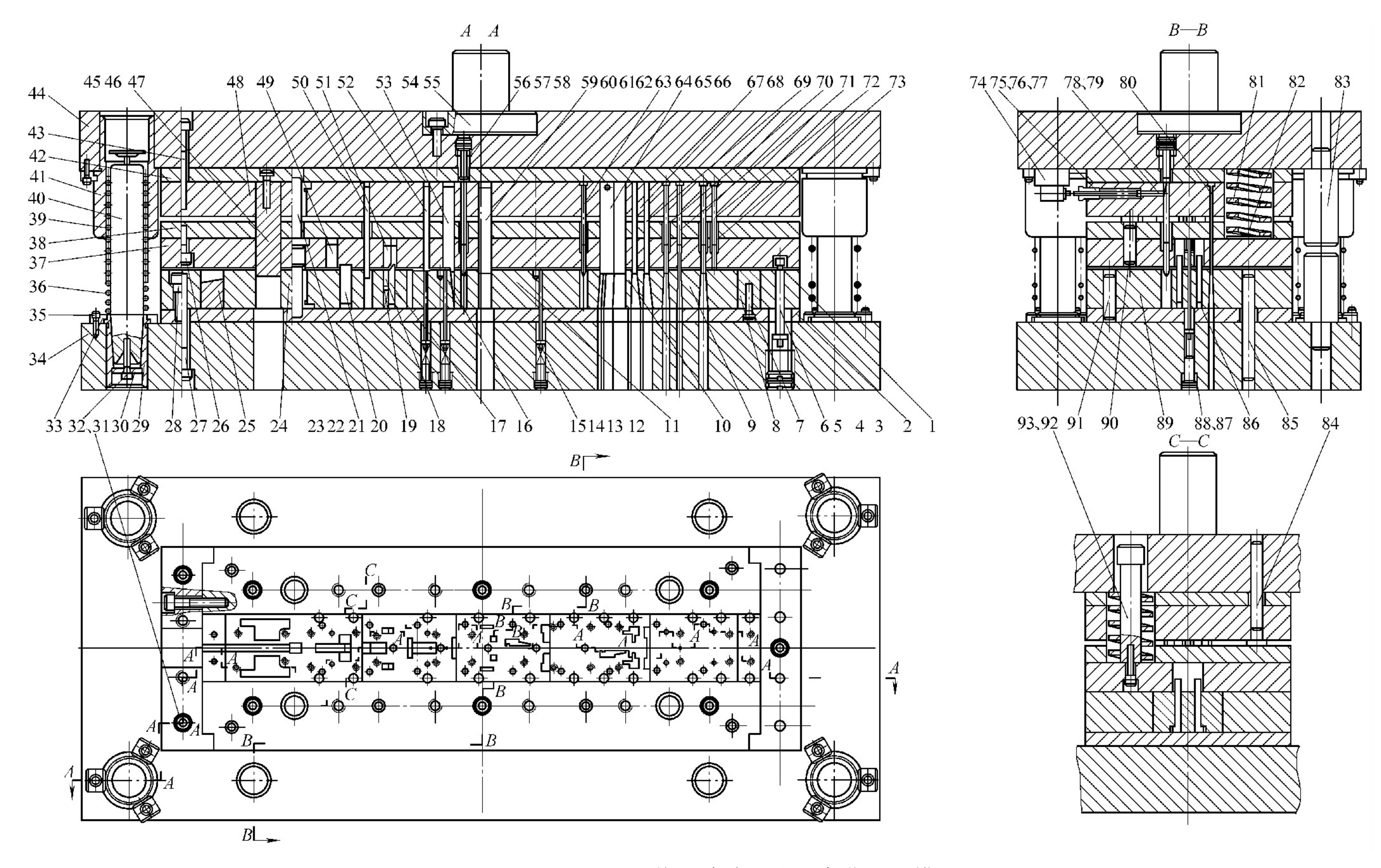


图 1-194　安装板冲裁、成形弯曲级进模

1、89—围框　2—凹模垫板　3—带槽浮顶导料柱　4、13、19、36、76、79、88—圆形截面弹簧　5、14、57—垫柱　6、15、58—螺堵　7、26、27、28、31、32、35、43、45、55、59、92—内六角螺钉　8、9、10、11、16、24、25—凹模镶块　12—顶杆　17、20、86—弯曲成形镶块　18—顶块　21—导柱　22、23—导套　29—下模座导柱镶套　30—垫圈　33—压板　34—下模座　37—卸料板　38—卸料板垫板　39—钢珠保持圈　40—模架导柱　41—模架导套　42—上垫板　44—上模座　46、60、61、65、66、67、68、69、80—局部外形冲切凸模　47—载体分离冲切凸模　48—凸模固定板　49、51—卸料板内成形镶块　50、52、53—弯曲成形凸模　54—模柄　56—导正销　62—压窝凸模　63—翻边凸模　64—圆柱销　70—冲孔凸模　71—冲翻边预孔凸模　72—冲导正钉孔凸模　73—预压窝凸模　74—微动开关　75—螺母　77—触杆　78—活动导正钉　81—矩形截面弹簧　82—调整垫片　83—限位柱　84、85、90、91—圆柱销　87—弹顶杆　93—定距卸料柱

3）除模架导向外，卸料板 37、凸模固定板 48、凹模围框 89 又设置四个导柱 21 导向。

4）采用浮动导料销导向送进，确保送料通畅。

5）采用了自动保护装置，当卷料发生误送进等异常现象，活动导正销 78 不能正常导正时，可紧急停机，从而保护模具不被损坏。

6）在上、下模座之间安装限位柱 83 以保证模具在非生产状态下的安全性。

10. 丝架冲裁、成形、弯曲级进模

图 1-195 所示为丝架零件图，图 1-196 所示为丝架排样图，图 1-197 所示为丝架冲裁、成形、弯曲级进模，图 1-198 所示为丝架下模装配图。

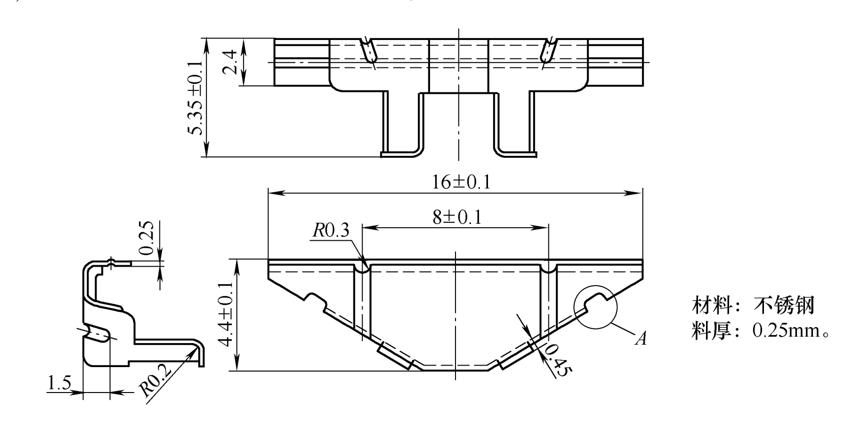


图 1-195　丝架零件图

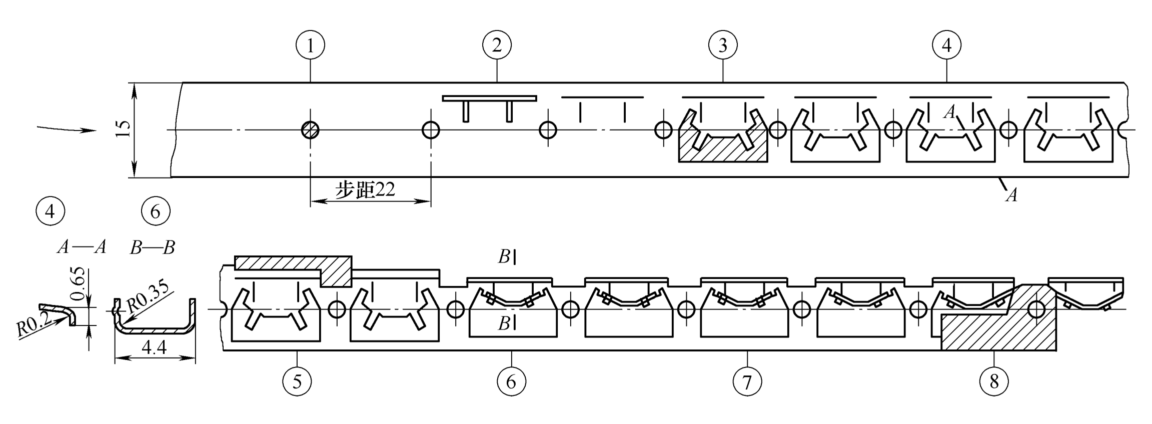


图 1-196　丝架排样图

排样图共设置 8 个工位，分别为：①冲导正销孔；②压肋；③冲外形余料；④L 形弯曲；⑤冲切另一侧外形余料；⑥U 形弯曲；⑦弯曲整形；⑧切断分离弯曲件。

模具主要特点如下：

图 1-197 和图 1-198 中带圈的数字与排样图一致，表示相对应的工位。

1）采用四导柱滚动导向模架，气动送料器送料，导正销精定位可实现自动化冲压生产。

2）工位①、②的凹模做成整体式镶件。工位③、④、⑤、⑥、⑦、⑧的凹模做成拼块式镶件，再嵌入到凹模固定板内，这种结构适用于较大的嵌块凹模。凹模镶件孔可用坐标磨削加工，因而装配精度高。

3）工位④L 形弯曲的弯曲高度为 0. 65mm，直边高度仅有 0. 2mm。为保证弯曲精度，采用负间隙弯曲成形。

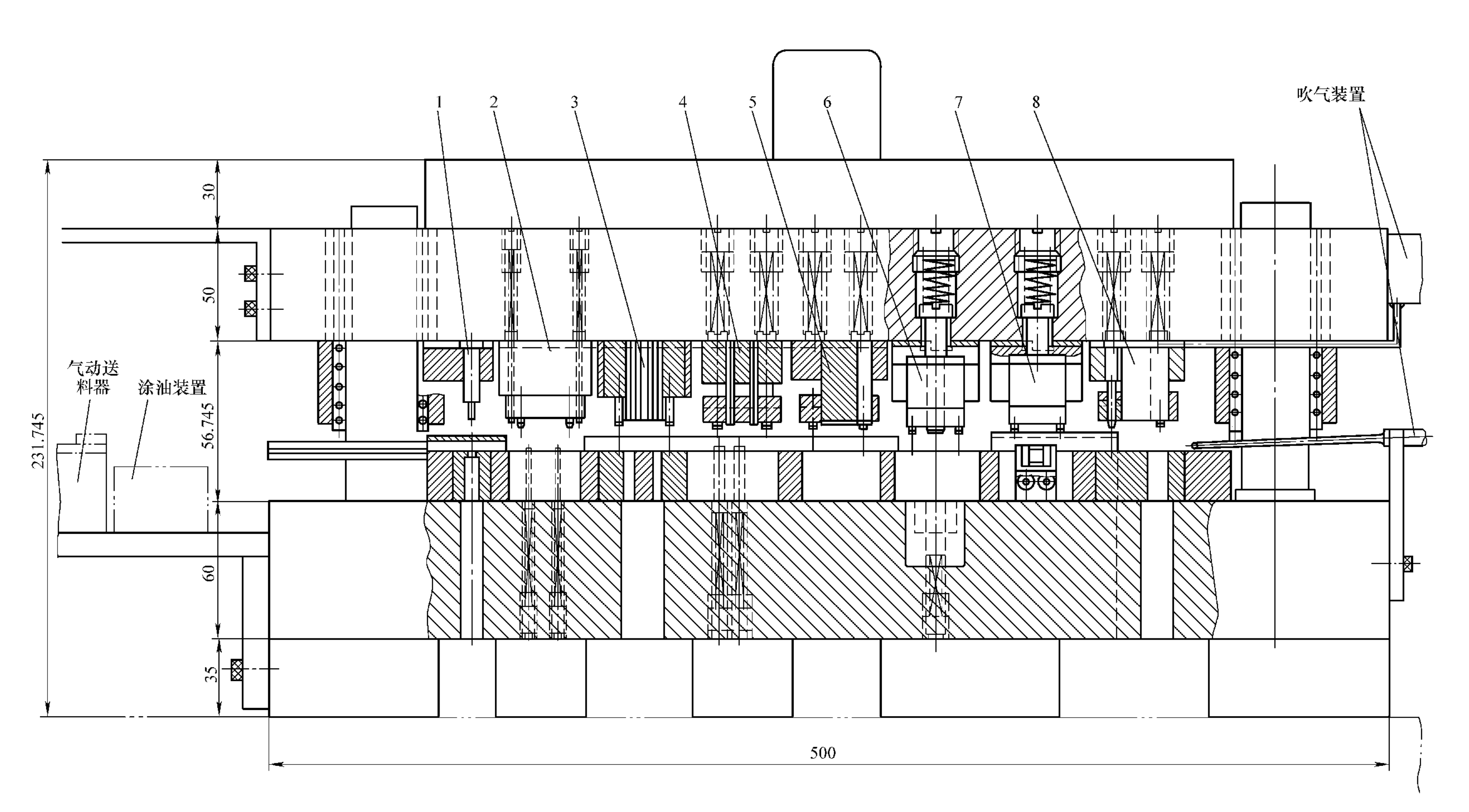


图 1-197　丝架冲裁、成形、弯曲模级进模

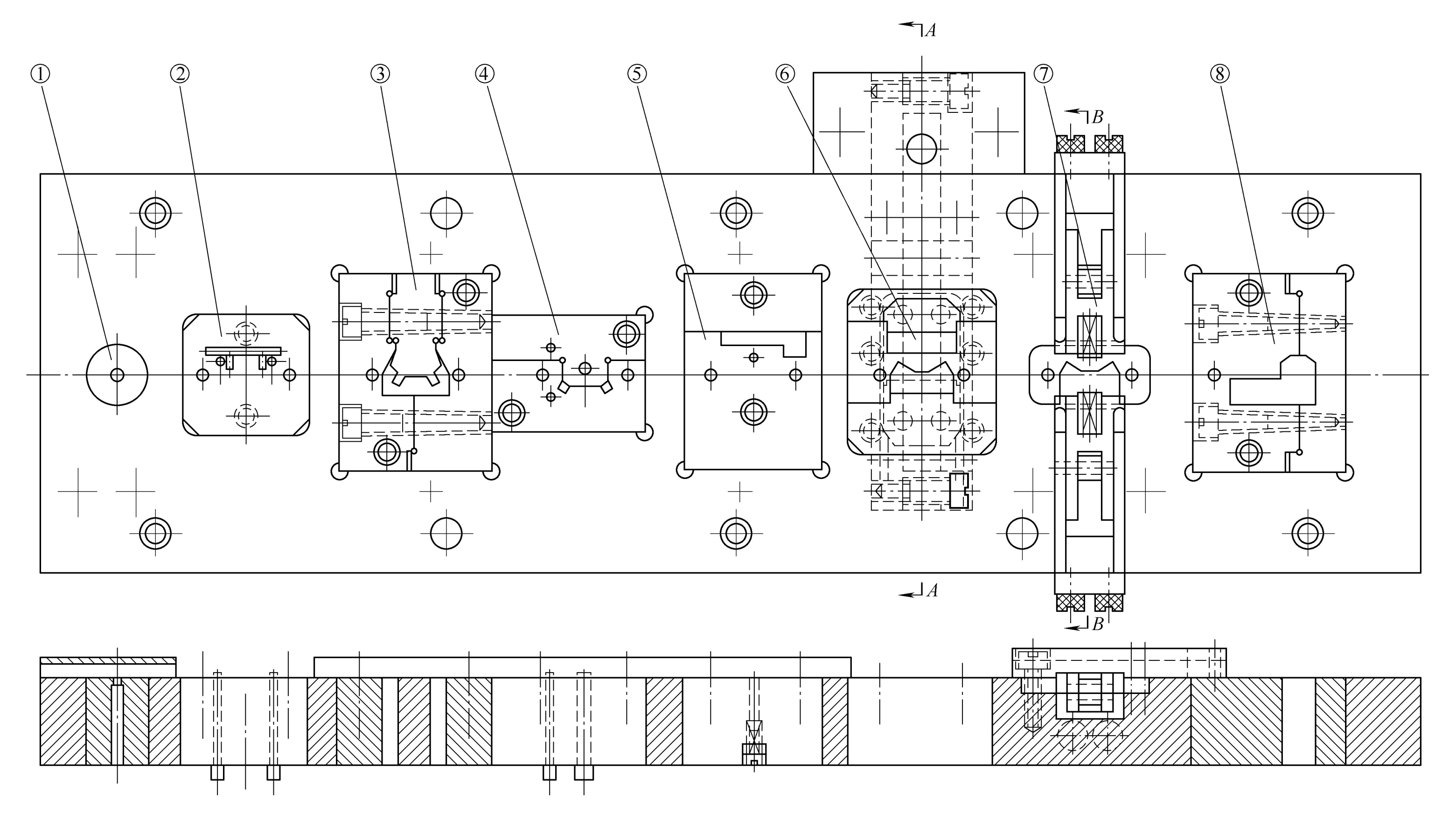


图 1-198　丝架下模装配图

4）工位⑥的弯曲下模中图 1-198 所示的 *A—A* 剖视图如图 1-199 所示。它的特点是 U 形弯曲时，通过杠杆 2 将压杆 1 向下的运动转换成凹模拼块 4 向上的加工运动，以保证制件的形状要求。工位⑥的上模如图 1-200 所示，在 U 形弯曲中，应注意凹模向上运动的高度不能接触到制件的凸肋。

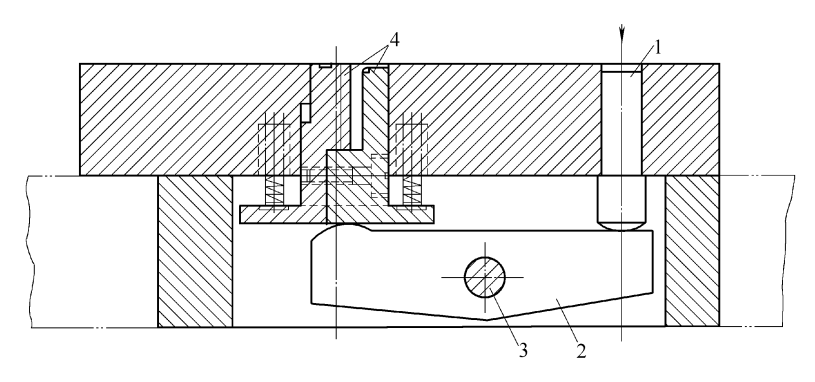


图 1-199　工位⑥下模的 *A—A* 剖视图

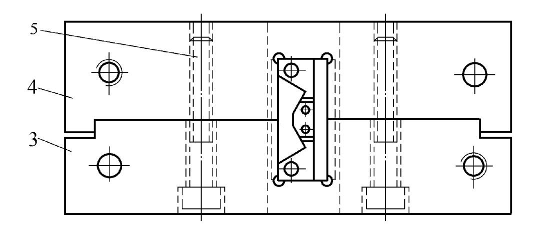
1—压杆　2—杠杆　3—轴　4—凹模拼块

5）工位⑦的弯曲整形下模中图 1-198 所示的 *B—B* 剖视图如图 1-201 所示。上模如图 1-202 所示。上模的螺钉 3 由上模座的螺钉孔台肩支承，螺钉头上面装有弹簧（图 1-197 中的工位⑦）。当凸模 2 接触到凸模固定板拼块 4 后，随着压力机滑块的下降，螺钉 3 不再向下运动，而斜楔 1 继续向下运动，并由斜面推动凸模 2 和下模的凸模固定拼块 5 对弯曲件进行弯曲整形。

6）模具各工位的上模不但与主模架独立固定，并且凸模固定板多采用组合式，如图 1-200 和图 1-202 所示。所以型孔加工方便，试模、调整和更换零件方便。

11. 弹簧钩冲裁、成形、弯曲级进模

图 1-203 所示为弹簧钩零件图，图 1-204 所示为排样图，图 1-205 所示为弹簧钩冲裁弯



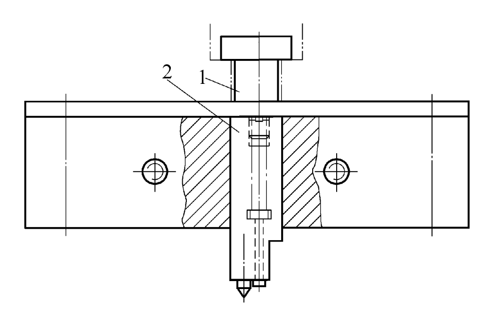


图 1-200　工位⑥的上模

1—螺钉　2—凸模　3、4—凸模固定板拼块　5—螺钉

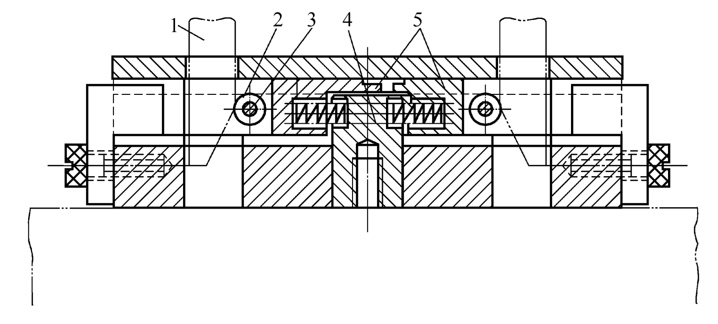


图 1-201　工位⑦下模的 *B—B* 剖视图

1—斜楔　2—滚轮　3—轴　4—模芯　5—活动凹模

曲级进模。

排样共设置 11 个工位，分别为：①冲两个 ϕ6mm 导正销孔；②为空位；③冲切两端余料，冲切中间六边形孔；④冲两侧废料；⑤为空位；⑥两端预弯曲；⑦为空位；⑧两端再次弯曲，中间预压成形；⑨为空位；⑩为空位；⑪弯曲成形，载体切断分离出弯曲件。

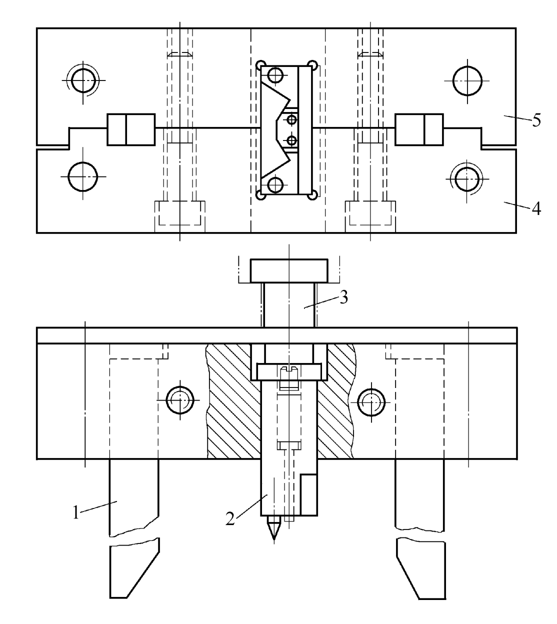


图 1-202　工位⑦的上模图

1—斜楔　2—凸模　3—螺钉　4、5—凸模固定板拼块

模具主要特点如下：

1）整个凹模由件 33、34、38、39、41、62 等分段拼合的凹模拼块组成，固定在围框内。因而加工制造方便，装配、调整、维修模具都十分方便。

2）采用自动送料机构初定距，导正销精定位。当工位③冲切以后，借用六边孔的两端位置起导正销孔作用，对卷料进行导正，以防止卷料在冲压过程中发生变形和倾斜，影响冲压精度。所以分别在工位④、⑥、⑨设置了导正销，对卷料进行导正。

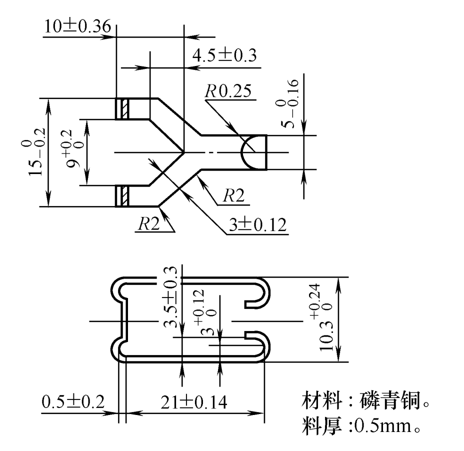


图 1-203　弹簧钩零件图

3）弯曲件两端弯曲成形采用斜楔 56 挤压摆动凸轮板 61 和活动模块 62 来弯曲整形。斜楔 56 设计成复合斜面。当斜楔回升时，两滑动模块在弹簧弹力的作用下复位。

4）在弯曲凸模中增加了弹簧预压器 43、44 等，在压弯前先压住毛坯，以免在弯曲过程中弯曲件产生微量滑移。

5）条料的送进导向，工位②之前主要靠导料板导向，工位③以后完全依靠中间载体运载。为了减少卷料在凹模上的摩擦，采用了浮顶器 32、柱式浮顶器 37 将卷料顶起送进。

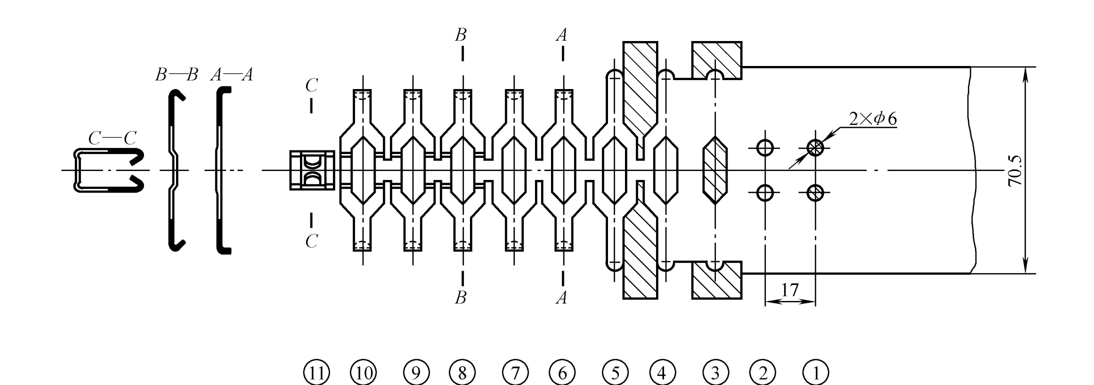


图 1-204　排样图

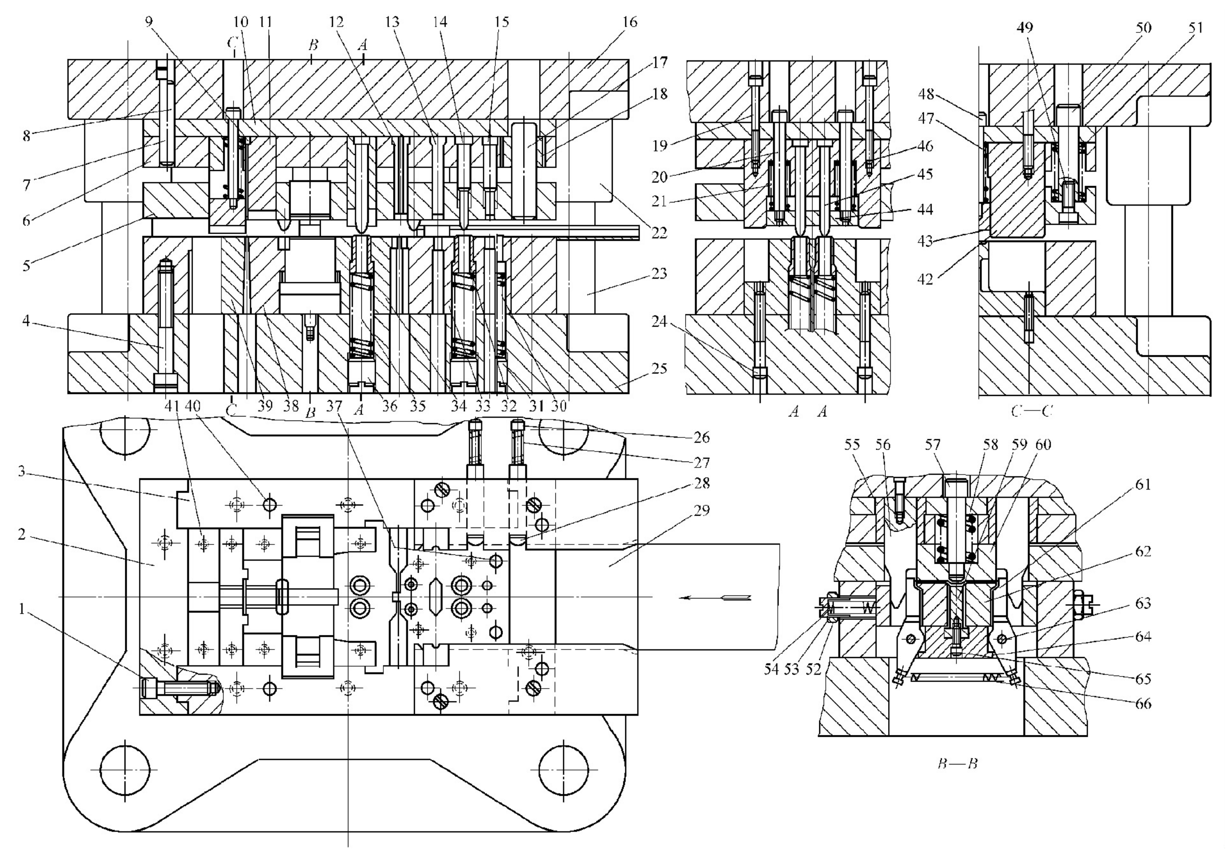


图 1-205　弹簧钩冲裁弯曲级进模

1、4、7、19、24、26、49、65—螺钉　2、3—围框　5—卸料板　6—固定板　8、40—销　9—切断凸模　10—凸模垫板　11—垫板　12—异形凸模　13—六边形凸模　14、45—导正销　15—冲孔凸模　16—上模座　17—小导柱　18—小导套　20、48、57—卸料螺钉　21、27、30、35、47、51、53、58—弹簧　22—导套　23—导柱　25—下模座　28—挡料块　29—承料板　31、36—螺塞　32—浮顶器　33、34—凹模拼块　37—柱式浮顶器　38—凹模拼块　39—压弯凹模拼块　40—圆柱销　41—凹模拼块　42—压弯凸模　43、44—预压器　46—压弯凸模　50—螺柱　52—螺母　54—可调螺塞　55—套　56—斜楔　59—模芯　60—上活动芯　61—摆动凸轮板　62—活动模块　63—轴　64—座块　66—拉簧

12. 多零件冲裁、成形、弯曲级进模

图 1-206 所示为零件图，轴承盖的冲压工序为冲孔落料，固定块的冲压工序有冲孔、压窝、弯曲、落料，锁板的冲压工序为冲孔、弯曲、落料。

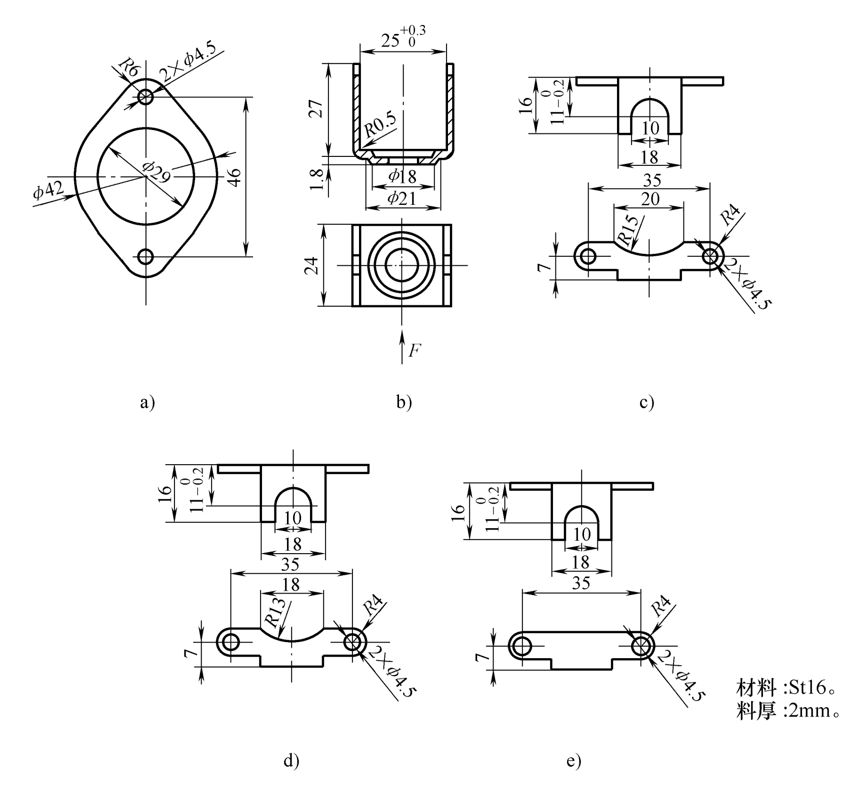


图 1-206　零件图

a）轴承盖　b）固定块　c）、d）、e）锁板

排样图如图 1-207 所示，由于固定块制造工序多，展开后面积大，制件中心需冲孔、压窝成形，两边需对称弯曲成形；所以制件必须采取两边切 U 形槽，中间留载体携件的方式，并在压窝时周边设计出足够的让位孔，以避免卷料变形。设计固定板与轴承盖并排排列。轴承盖的落料应在固定板的压窝工序之前，作为让位孔。轴承盖的 U 形弯曲设计成向上弯曲，避免凹模需要大的让位空间，否则影响凹模强度。为减小模具结构，压窝和 U 形弯曲可在同一工位完成。

卷料上共有 3 个导正孔 H、I、J，在固定板未压窝前，利用 H、I 孔导正；压窝成形后，工

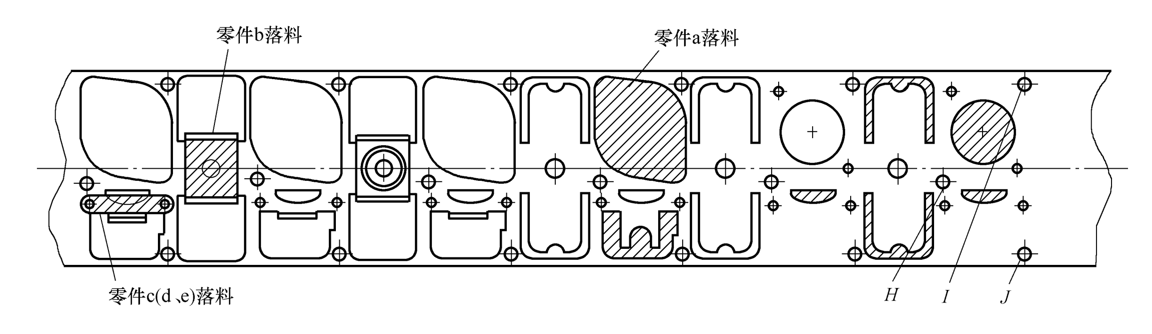


图 1-207　排样图

位由 I、J 孔导正，H 孔起到压窝让位的作用。

模具结构特点如下：

1）采用目前较为流行的组合子模具结构，冲模由三副子模具组成，各子模具均为独立结构的冲压单元，既相互独立又相互联系。各子模具所用的定位销和固定螺钉与主模架上、下模座连接。冲模分割成子模具后，子模具的外形尺寸大为缩小，使冲模的装配、调整、对模方便且精度高，明显地降低了对冲模制造精度的要求。

2）采用气动送料机构进行粗定位，每个工位上的导正销 33 作为精定位，还设有自动检测导正销 59，当卷料误送时，导正销推动微动开关使压力机立即停机，保护冲模免于损坏。卷料由导料板组件 61、浮动导料销 36 导向送进，并采用托料销组件 41，顶板 42 将卷料托起浮离凹模表面，正常向前送进。

3）模架是整副模具的骨架，采用四组 40mm 的自润滑可拆式滚动导向组件导向，各子模具分别采用四组、两组和两组的自润滑可拆式滚动导向组件导向，此专利导向组件的特点是在冲模工作时，润滑油流入导向工作面，可提高导向精度的保持性。为保证子模具导向组件的可拆性，在主模架上相应位置预制了拆卸工艺孔。模架上、下模座用 45 钢并经调质处理，硬度达 31 ~ 35HRC。

4）凸模固定板 5、16、27，垫板 3、14、25、48 采用 CrWMn 合金工具钢制造，热处理后硬度为 50 ~ 55HRC。导料板采用高耐磨冷作模具钢 Cr12 制造，热处理硬度为 52 ~ 56HRC。冲裁凹模和工作应力较低的凸模采用 SLD8（相当于 Cr12MoV）合金工具钢制造，热处理后硬度为 62 ~ 64HRC。高工作应力的凸模采用 W6Mo5Cr4V2 冷作模具高速钢制造，热处理后硬度为 62 ~ 66HRC。冲孔小凸模、导正销、检测导正销也采用 W6Mo5Cr4V2 钢制造。成形镶块 55、56 采用硬度高、抗压强度高、耐磨性好的 YG8 硬质合金制造，因而保证极高的精度保持性。

5）冲模冲压时，相应的产品型号由压条 31 控制，冲压如图 1-206a、b、c 所示的一组产品时，推入压条使凸模 M（图 1-208）处于工作状态，凸模 N（图 1-208）处于浮动状态。当冲压图 1-206a、b、d 所示的一组产品时，变换压条位置，使凸模 M 处于浮动状态，凸模 N 处于工作状态。当冲压图 1-206a、b、e 所示一组产品时，变换压条位置，使凸模 M、N 都处于浮动状态。各工作状态调定后由锁板 34 锁定压条。

6）冲模的卸料弹簧设计为开放式结构，如弹簧 11、19 及橡胶 23 避免了因冲模长期存放而降低寿命，对检修更换也方便。

7）浮动导料销采用了分体式的专利导料销，如图 1-209 所示，此导料销克服了原结构的导料槽宽、槽深和槽高一致性差的缺陷。导料销因受卸料板快速频繁的冲击，头部容易产生变形和开裂，新结构只需更换导料头 2 即可，刃磨时，旋下导料头 2，将 K 面磨去凹模刃磨量即可保证托料高度不变。

13. 耳环子模具组合级进模

图 1-210 所示为耳环零件图，图 1-211 所示为耳环排样图，图 1-212 所示为耳环子模具组合级进模。

排样图共设置了 17 个工位，采用一模两件对称排，工位①借用零件上的（ϕ12.8 ± 0.2）mm 孔冲导正销孔 ϕ6.5mm，作以后工位定距导正用，并在两零件切断的中间余料处冲长方孔 14mm × 12mm，作为后面工位定距用。工位②冲异形双侧刃定距兼冲切零件间多余料。工位③、④、⑤、⑥为空工位，工位⑦是零件向上弯曲 89°。工位⑧、⑨、⑩、⑪为空工位，工位⑫由内向外打凸。工位⑬、⑭为空工位，工位⑮冲两个 ϕ3mm 及 ϕ12.8mm 孔，这时冲下的废料正好是两个垫圈，因而提高了材料的利用率。工位⑯为空位，工位⑰冲切载体分离零件。

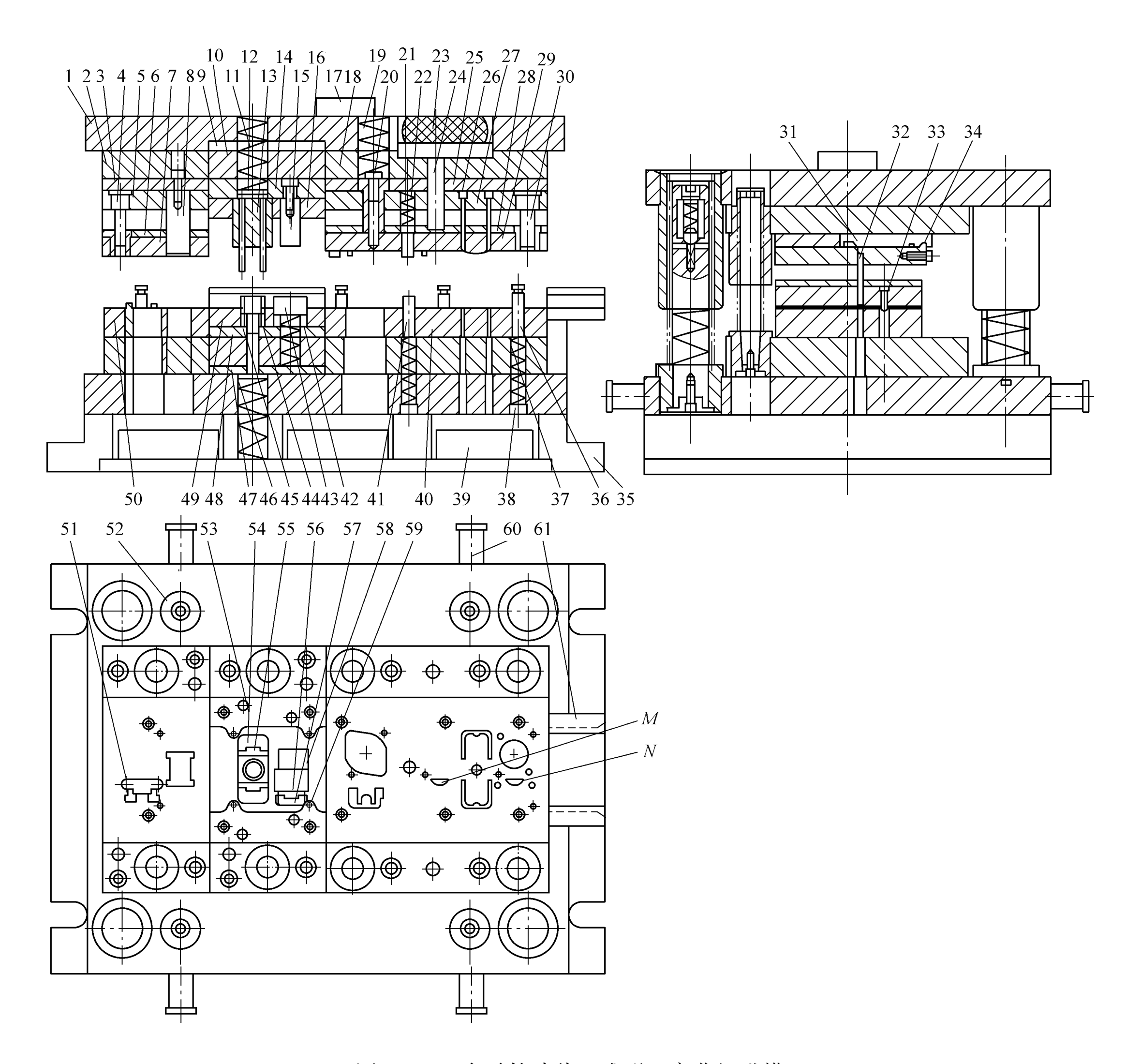


图 1-208　多零件冲裁、成形、弯曲级进模

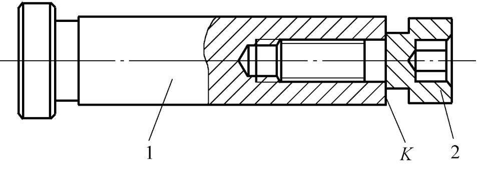
1—上模座　2—落料子模具　3、14、25、48—垫板　4、30—小导柱　5、16、27—凸模固定板
6、28—卸料板垫板　7、29—卸料板　8、26—凸模　9、47—调整垫板　10—成形子模具
11、19、37、46—弹簧　12—推件组件　13、15—成形凸模　17—定位柱　18—切缺子模具
20—卸料螺钉　21—推料销　22、24、44—推杆　23—橡胶　31—压条　32—切缺凸模
33—导正销　34—锁板　35—下模垫铁　36—浮动导料销　38—螺塞　39—制作输出框
40、49、50—凹模　41—托料销组件　42—顶板　43—顶杆　45—压窝镶件　51—挡块
52—限位柱　53—导料板　54、57—镶块支座　55、56—成形镶块　58—凸模挡块
59—检测导正销　60—吊柱　61—导料板组件

模具结构特点如下：

从图 1-212 可知，本模具是在一副大模架上装上Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四副独立子模具，子模具Ⅰ完成工位①、②的冲裁工序，子模具Ⅱ完成工位⑦的向上弯曲工序，子模具Ⅲ完成工位⑫的打凸工序，子模具Ⅳ完成工位⑮的冲孔和工位⑰的冲切载体分离零件工序。

各子模具由销钉定位，并用螺钉紧固在大模架的上、下模座上，各子模具间保持一定距离，并保证级进模步距一致的原则。

大模架的上、下模座采用45钢调质处理，硬度为31～35HRC，并装有四对滚动导柱、导套导向，每副子模具也都装有滚动导柱、导套导向，因而精度、刚度、强度较高，导向性和冲压稳定性较好。子模具拆装、维修都很方便。大模架下模座5的下面、左、中、右分别垫有垫板4，主要用于增大模具闭合高度，并有利于观察冲压过程中的漏料情况。



材料：SPCC冷轧钢带。
料厚：1.8mm

图1-209　浮动导料销
1—导料销本体　2—导料头

图1-210　耳环

图1-211　耳环排样图

下面对四副子模具加以介绍：

1）冲孔和冲切外形余料子模具。这部分实际上相当于一副简单的冲裁级进模，卸料为弹压式，凹模为整体式，采用Cr12MoV高耐磨冷作模具合金工具钢制造，热处理后硬度为60～64HRC，凸模采用W6Mo5Cr4V2高速钢制造，热处理后硬度为62～66HRC。

冲压时，卷料由自动送料装置沿导料板3和导料柱2正确送入模具后，完成工位①和工位②的冲裁，工位③设有自动安全检测装置，一旦卷料送不到位，则探头缩回，压力机停止工作。

2）压弯成形子模具。这是一副带有顶板9和真空橡胶10等组成的带有压料和顶件装置的弯曲模。自由状态下，顶板9高出子模具Ⅰ的凹模6上平面约7mm；压弯时，利用导正销伸入圆孔

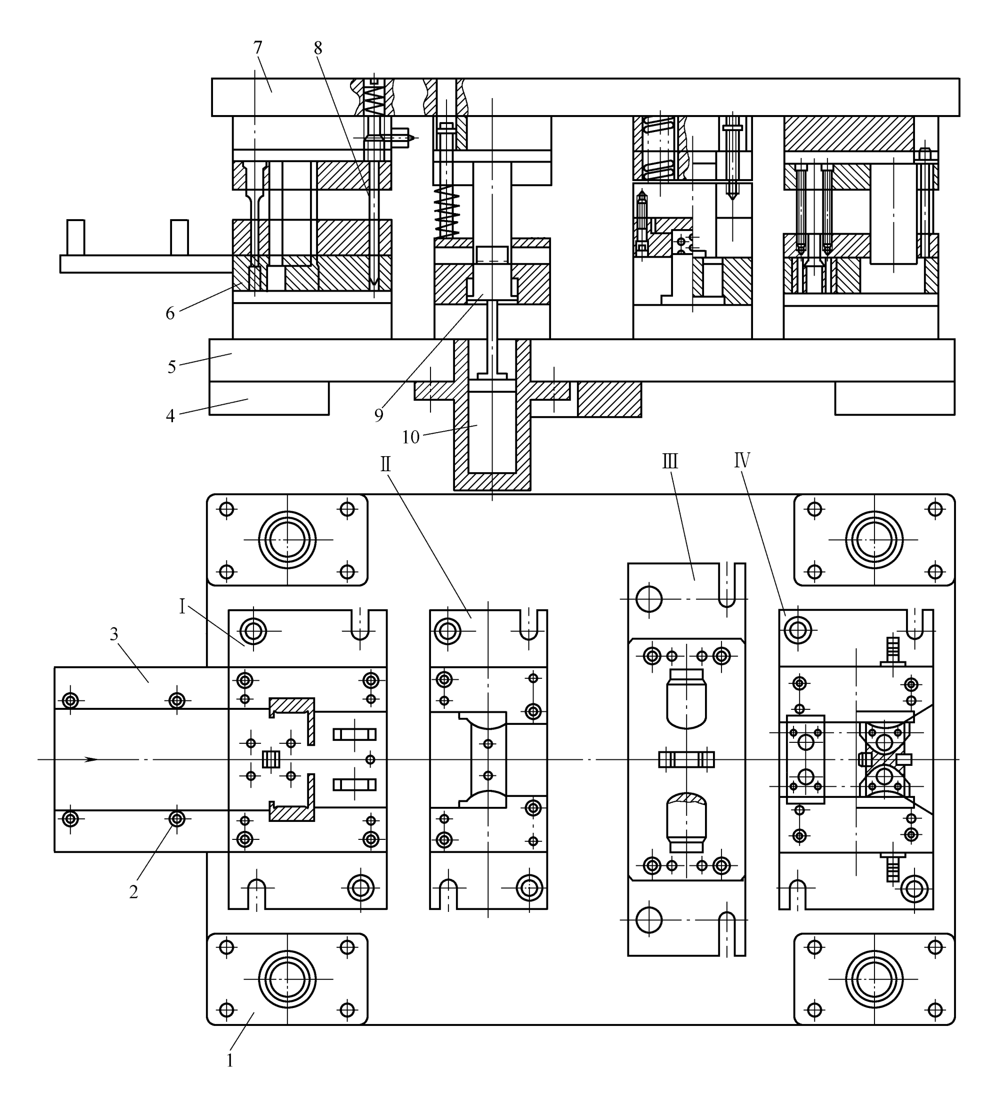


图1-212　耳环子模具组合级进模

Ⅰ—冲孔和冲切外形子模具　Ⅱ—压弯子模具　Ⅲ—打凸子模具　Ⅳ—冲孔切断子模具

1—独立滚动导向副　2—导料柱　3—导料板　4—垫板　5—大模架下模座

6—凹模　7—大模架上模座　8—安全探头　9—顶板　10—真空橡胶

导正定位，上凸模和顶板将料压紧状态下两侧边向上弯曲89°，并形成圆弧面，这时顶板9底平面和子模具Ⅱ下模座压死，起到整形作用，以确保弯曲件精度。压弯凹模工作部分镶YG8硬质合金，凸模采用Cr12MoV钢，热处理后硬度为58～62HRC，凸凹模之间的间隙取材料厚度加0.01～0.02mm，弯曲凹模圆角半径为$R2$～$R3$mm，表面粗糙度值不大于Ra 0.4μm。

3）打凸子模具。打凸子模具如图1-213所示，当上模下行时，在左、右斜楔5、10的作用下，推动左、右滑块3将凹模镶块2送到打凸位置；之后上模继续下行，中间斜楔12将中间滑块4带动打凸凸模1向外运动，完成打凸工序。上模回升时，各滑块在复位弹簧14的作用下迅速回复原位，接着进行下一次冲压。

四个弹簧11在自由状态下高出上模座9的上平面约30mm，其高度应一致。卸料板7同时也是导料板，采用SKD11钢制造，热处理后硬度为58～62HRC。为使斜楔5、10免受侧压力影响而影响模具精度，卸料板上装有挡块13对斜楔起保护作用。

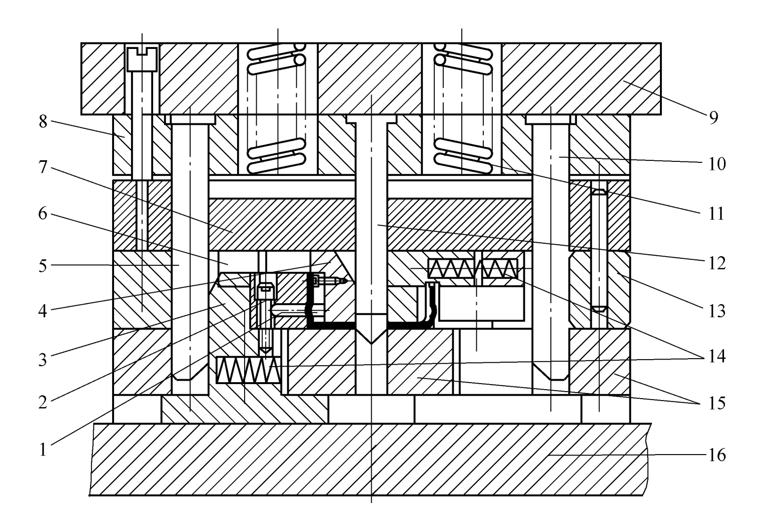


图 1-213　打凸子模具

1—打凸凸模　2—凹模镶件　3—滑块　4—中间滑块　5、10—斜楔　6—导轨
7—卸料板　8—固定板　9—上模座　11—弹簧　12—中间斜楔　13—挡块
14—复位弹簧　15—导板挡块　16—下模座

由于打凸时力量较大，约有 60kN，中间斜楔 12 必须有足够高的刚度，因而导板挡块 15 分别对中间斜楔 12，斜楔 5、10 起保护作用，保证其强度、刚性及稳定性。滑块选用 W6Mo5Cr4V2 高速钢制造，热处理后硬度为 61 ~ 63HRC，在卸料板中间有加油槽，保证各运动副及时得到润滑，使生产能正常进行。

打凸凸凹模采用镶块式结构，采用 Cr12MoV 钢制造，热处理后硬度为 58 ~ 62HRC，对保证打凸质量，维修和调整都方便。

4）冲孔切断分离子模具。在工位⑮上冲四个 ϕ3mm 孔和两个 ϕ12.8mm 孔，在工位⑰上冲切载体分离出零件。凹模采用镶拼式结构，用 YG20 硬质合金制造，固定在凹模固定板上，并由导料板压牢，导料板上还装有气孔，每冲一次把切断零件耳环吹入到容器内。凸模采用 SKD11 钢制造，热处理后硬度为 58 ~ 60HRC。

14. 常闭触头冲裁弯曲级进模

图 1-214 所示为常闭触头零件图，图 1-215 所示为常闭触头排样图，图 1-216 为常闭触头冲裁弯曲级进模。

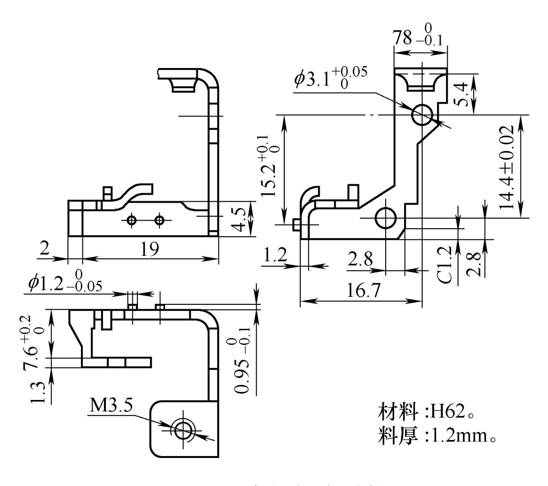


图 1-214　常闭触头零件图

排样共设置了 11 个工位，分别为：①冲 2 个 ϕ3.1mm 孔、M3 螺纹底孔、长方孔及冲导正销

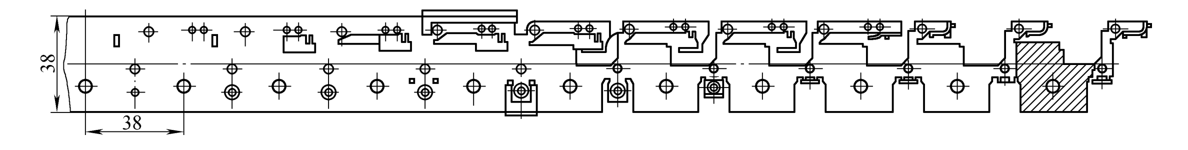


图 1-215　常闭触头排样图

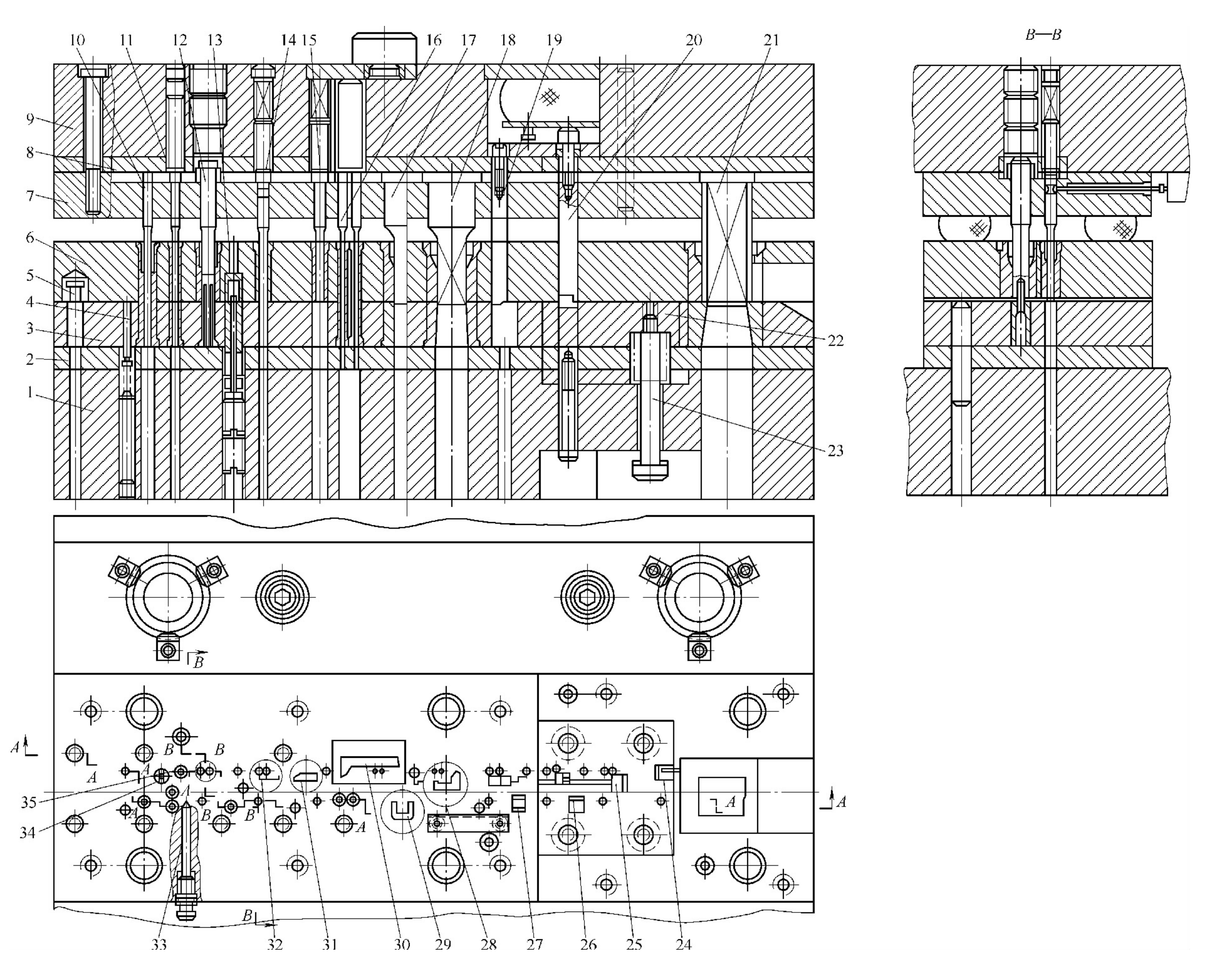


图 1-216　常闭触头冲裁弯曲级进模

1—下模座　2—下垫板　3—凹模座　4—托料装置　5—导料销　6—卸料板座　7—固定板　8—上垫板　9—上模座

10、11、12、13、16、17、18、19、20、21、24—凸模　14—检测导正销　15—导正销　22—浮动块

23—限位螺钉组件　25、26、27、28、29、30、31、32、34、35—凹模　33—初始挡料机构

孔；②螺纹孔翻边，打 ϕ1.2mm 凸台；③切除弯曲部分余料；④切除弯曲部分余料；⑤切除弯曲部分余料；⑥切余弯曲部分余料；⑦成形弯曲；⑧向上弯曲；⑨向上弯曲；⑩为空位；⑪切除载体，分离出弯曲件。

模具结构特点如下：

1）采用国外通用系列（VSD）模具结构，即采用了圆形或方形的镶拼块（如零件 28、29、30、31、32 等)，经加工成为独立单元；然后将这些拼块以一定的过盈量镶入凹模座 3 及卸料板座 6 中。特点是拼块零件商品化，因此便于加工更换。

2）采用四对可卸式滚动导向模架，上、下模座采用 45 钢制造，调质处理后硬度为 31 ~ 35HRC。并在固定板 7、卸料板座 6、凹模座 3 之间设有六对小导柱、导套滑动导向，导向可靠。

3）采用自动检测导正销 14（图 1-216 中的 B—B 剖视图)，当卷料误送时，导正销触动微动开关使压力机立即停机，保护冲模免于损坏。

15. 轭铁冲裁、成形、弯曲级进模

图 1-217 所示为继电器轭铁零件图和毛坯展开图，图 1-218 所示为轭铁排样图，图 1-219 所示为轭铁冲裁、成形、弯曲级进模。

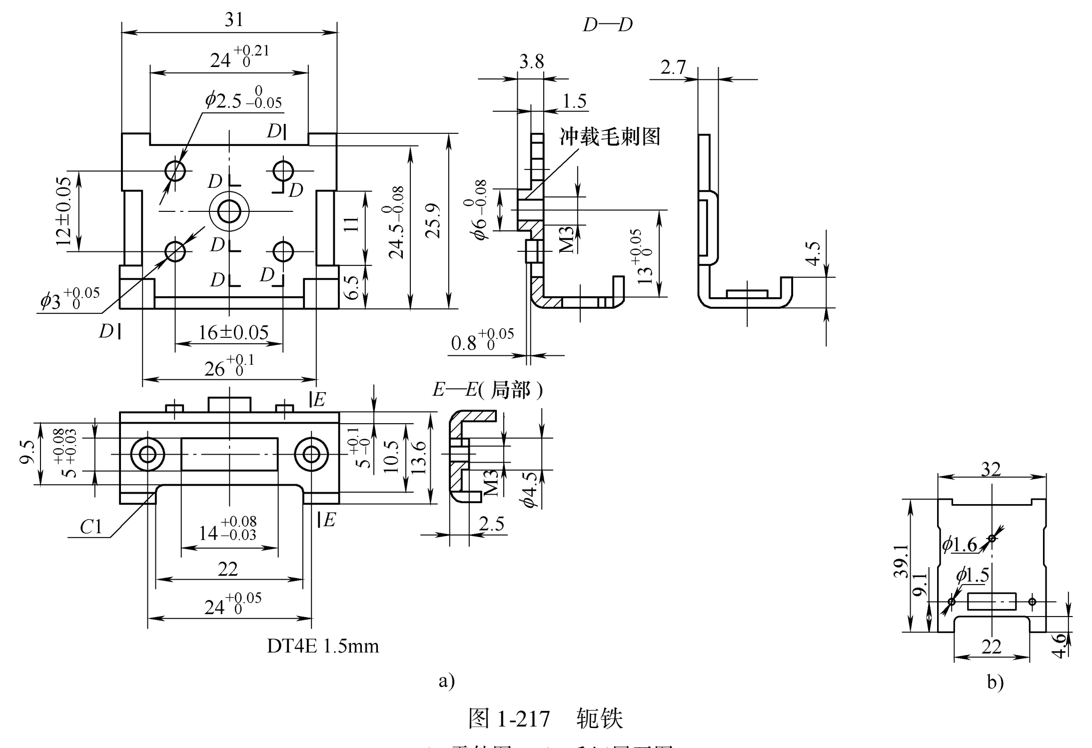


图 1-217　轭铁

a）零件图　b）毛坯展开图

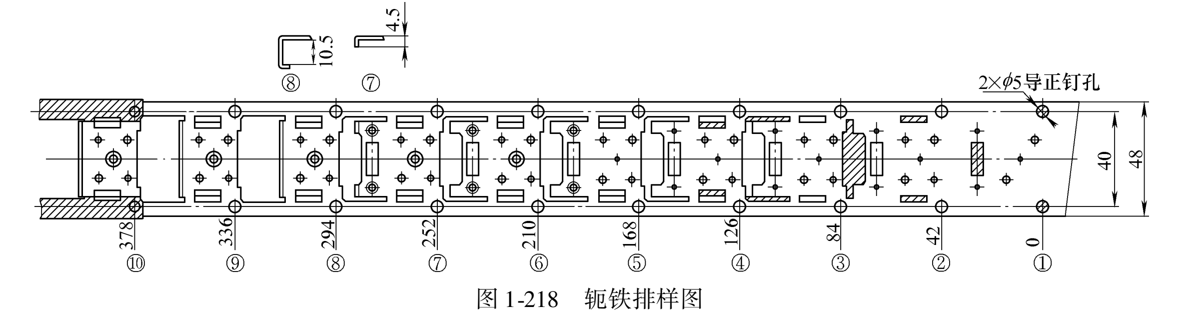


图 1-218　轭铁排样图

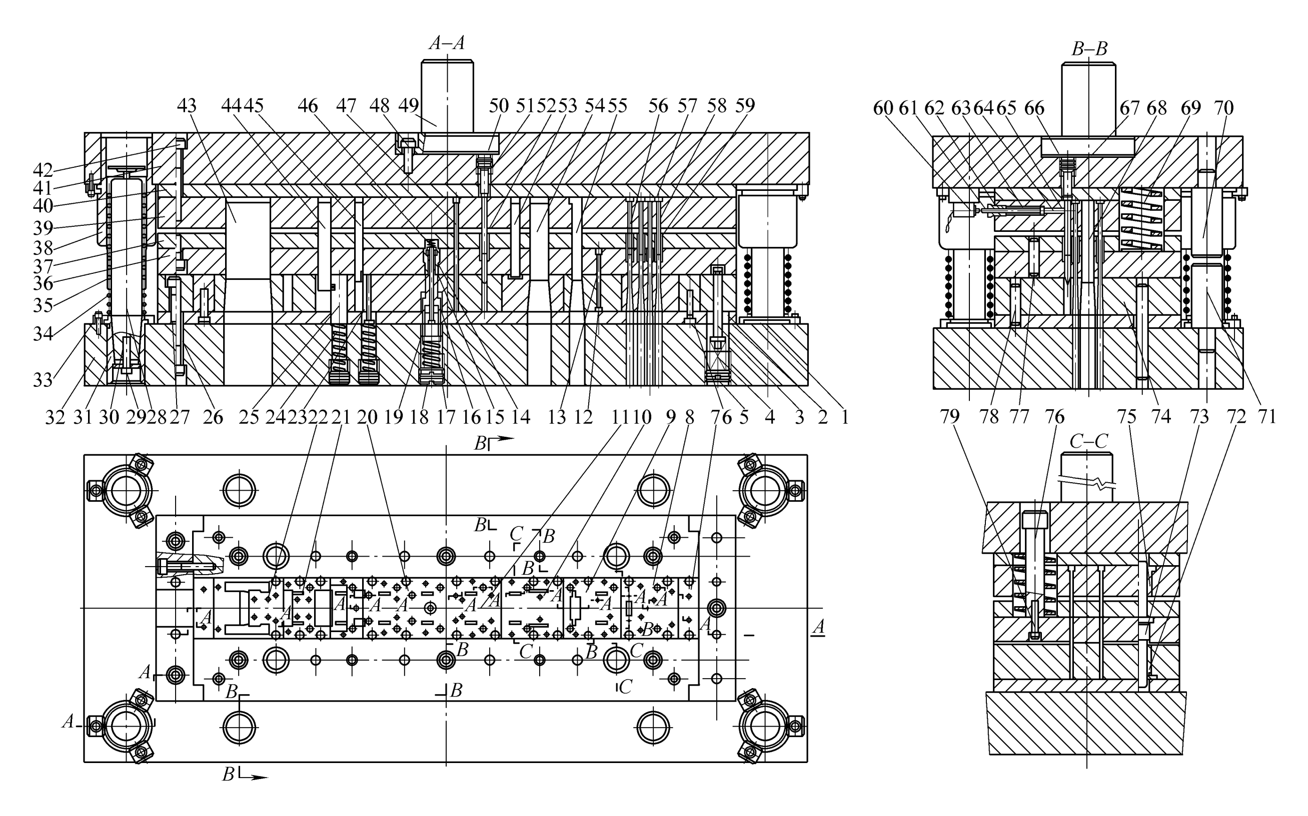


图 1-219　轭铁冲裁、成形、弯曲级进模

1、74—围框　2—凹模垫板　3—浮动导料销　4、18、24、34、46、63—弹簧　5、50、66—螺塞　6、26、27、29、42、48、79—螺钉　7、8、9、10、11、20、21、22—凹模镶块　12—压凸泡凹模内镶件　13—压凸泡卸料板内镶件　14—卸料板内翻边镶件　15—推管　16—翻边卸料推套　17—翻边凸模　19—顶杆　23—弹顶杆　25—弯曲成形顶块　28、73—导柱　30—垫圈　31—镶套　32—下模座　33—压板　35—钢珠保持套　36—卸料板　37—卸料板垫板　38、72、75—导套　39—凸模固定板　40—上垫板　41—上模座　43—载体分离冲切凸模　44、45—弯曲成形凸模　47—翻边凸模　49—模柄　51、67—垫柱　52—导正销　53—外侧凸肋冲切凸模　54、55—局部外形冲切凸模　56、57—冲翻边预孔凸模　58—冲孔凸模　59—冲导正销孔凸模　60—微动开关　61—触头　62—螺母　64—推杆　65—活动导正销　68—冲长方孔凸模　69—矩形截面弹簧　70、71—限位柱　76—定距卸料柱　77、78—销

排样图共设置 10 个工位，分别为：①冲两个 ϕ5mm 导正销孔、三个 M3 螺纹翻边底孔、两个 ϕ3mm 孔及 14mm×5mm 长方孔；②冲两个 ϕ2.5mm 凸台、两侧需局部成形的凸肋的外形及弯曲件下端需弯曲成形的局部外形；③冲切需弯曲的局部外形；④冲切凸肋；⑤两个 M3 螺纹孔翻边；⑥中间 M3 螺纹孔翻边；⑦第一次向下小弯曲成形；⑧第二次向下大弯曲成形；⑨为空位；⑩弯曲件与载体冲切分离。

模具结构特点如下：

1）凹模采用模块式凹模围框式固定，将 10 个冲压工位分解成 8 个冲压单元的独立模块 7、8、9、10、11、20、21、22 的结构形式，按工序顺序组合后，用围框 1、74 定位紧固在下模部分，所以，模块式凹模的加工、检测、调整和维修均较方便。

2）冲件下端的两次弯曲成形模具结构如图 1-220 所示，弯曲成形顶块 25 的高度 H 应与凹模镶块 21 的厚度一致，否则会因存在高度差而影响弯曲件平面的质量。

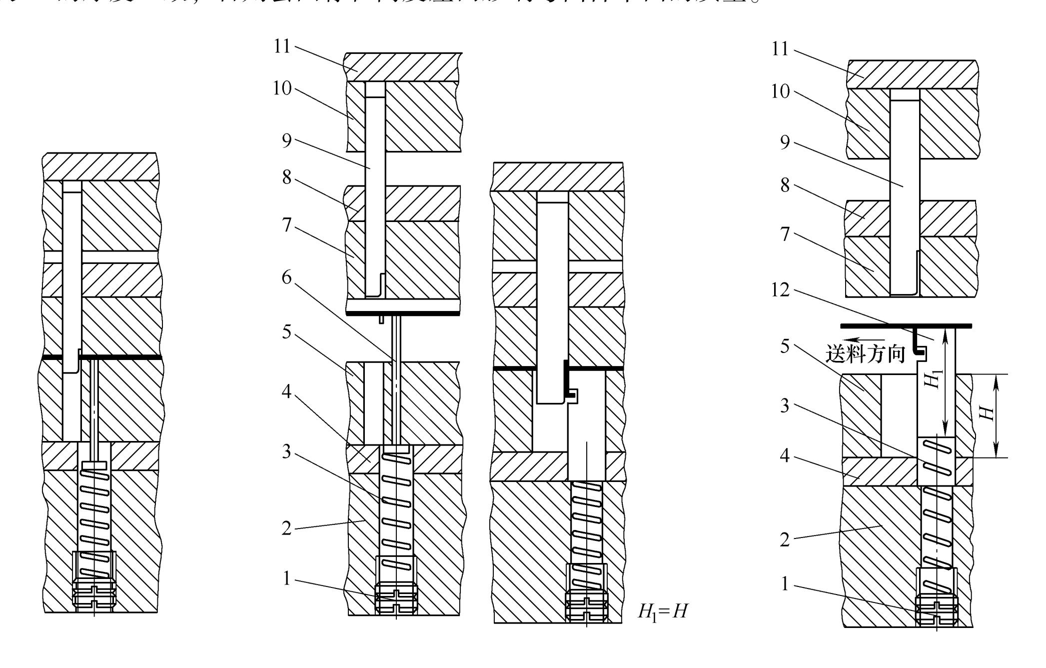


图 1-220　两次弯曲成形模具结构图

1—螺塞　2—下模座　3—圆形截面弹簧　4—下垫板　5—凹模　6—弹顶杆　7—卸料板
8—卸料垫板　9—弯曲成形凸模　10—凸模固定板　11—上垫板　12—弯曲成形顶块

3）为适应连续、稳定自动送料冲压需要，模架采用加强型四导柱滚动导向模架。

4）为确保卷料在连续送进冲压过程中的安全性、稳定性、可靠性，在工位⑧采用活动导正销 65，当卷料误送时，导正销触动微动开关使压力机紧急停机。

5）模具在不使用时成闭合状态，安装在上、下模间的限位柱 70、71 保证模具在非生产状态下的安全性，需使用时可拆下。

第三节　拉深模设计

把毛坯拉压成空心体或者把空心体拉压成外形更小而板厚没有明显变化的空心体的冲模叫拉深模。根据工序组合情况的不同可分为单工序拉深模、复合工序拉深模、连续拉深模，根据拉深顺序可分为首次拉深模和以后各次拉深模。

一、单工序拉深模

1. 无压料圈首次拉深模

图 1-221 所示为无压料装置的一次拉深模，一般用于材料厚度较厚，制件高度较小，尺寸精度不高的制件。

2. 有压料装置首次拉深模

图 1-222 所示为有压料装置首次拉深模，它利用压料板 17 和凹模 4 将毛坯压住进行拉深，以防拉深时起皱。为防止压力过大而拉裂，定位板 15 不但起定位作用，还起限位作用，其限位高度为 $s = t +（0.02 \sim 0.08）t$。

3. 无压料圈以后各次拉深模

图 1-223 所示为无压圈以后各次拉深模，常用于精度较高，尺寸变化不大的最后一次拉深。

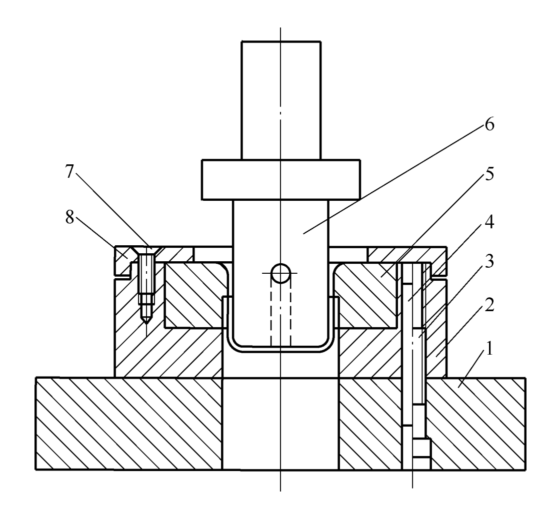


图 1-221　无压料圈首次拉深模

1—下模座　2—凹模固定板　3、7—螺钉　4—销　5—凹模　6—凸模　8—定位板

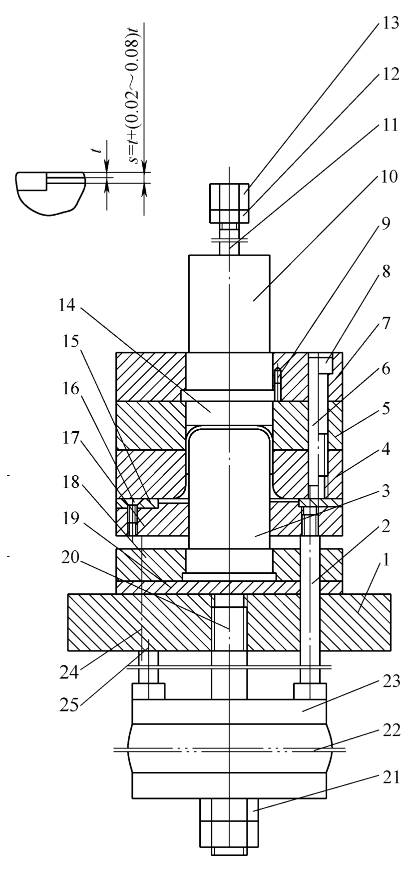


图 1-222　有压料装置首次拉深模

1—下模座　2—卸料螺钉　3—凸模　4—凹模　5—中垫板　6、9、25—销　7—上模座　8、16、24—螺钉　10—模柄　11—打杆　12、13、21—螺母　14—推板　15—定位板　17—压料板　18—凸模固定板　19—垫板　20—螺杆　22—橡胶　23—支板

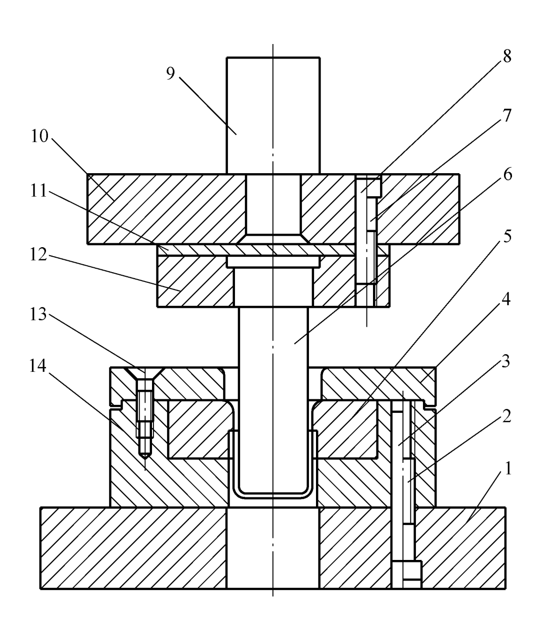


图 1-223　无压料圈以后各次拉深模

1—下模座　2、7、13—螺钉　3、8—销　4—定位板　5—凹模　6—凸模　9—模柄　10—上模座　11—垫板　12—凸模固定板　14—凹模固定板

4. 有压料装置以后各次拉深模

图 1-224 所示为有压料装置以后各次拉深模，为防止压料力过大而拉裂，增加调压杆 19，将间隙调整到 $s = t +（0.02 \sim 0.08）t$。若拉深件直径较大或拉深件高度太高，为减小闭合高度，拉深凸模可直接固定在下模座上。

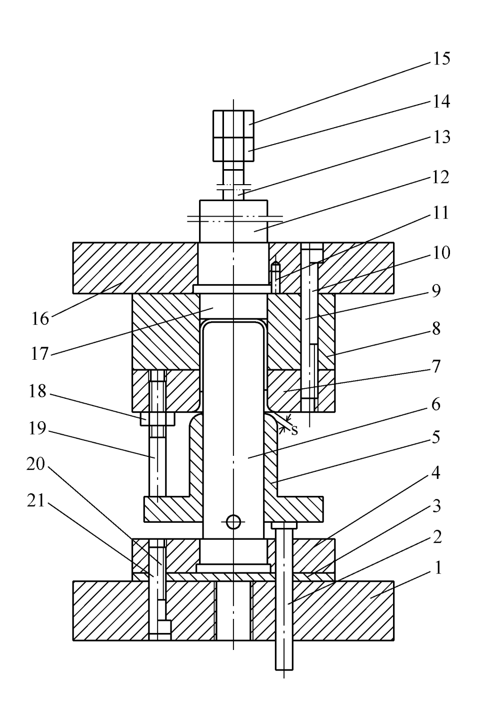


图 1-224　有压料装置以后各次拉深模

1—下模座　2—顶杆　3—垫板　4—凸模固定板　5—定位套　6—凸模　7—凹模　8—中垫板　9、11、21—销　10、20—螺钉　12—模柄　13—打杆　14、15、18—螺母　16—上模座　17—推板　19—调压杆

5. 双动压力机用首次拉深模

图 1-225 所示为双动压力机用首次拉深模，双动压力机一般用拉深直径较大，高度较大的拉深件。对于高度大于 80mm 的中等拉深件，由于采用普通压力机受压力机装模高度和滑块行程的限制无法进行拉深，一般也采用双动压力机或液压机拉深。

工作时，毛坯放在定位板 7 中定位，如采用下传动双动拉深压力机时，压边滑块固定不动，工作台带动下模上升，直到压料圈 9 和拉深凹模 5 将毛坯压牢（不宜压得太紧），并停留在此位置不动。这时固定在拉深滑块上的凸模 12 随着拉深滑块的下行对毛坯进行拉深，直到拉深结束为止。拉深完成后，拉深滑块先上升，然后工作台下降，完成整个拉深过程。

6. 双动压力机用以后各次拉深模

图 1-226 所示为双动压力机用以后各次拉深模，与首次拉深模不同的是：毛坯是拉深后的工序件，因而定位圈 12 厚度较厚，压料圈 7 是压在工序件的内径内，拉深过程同首次拉深。

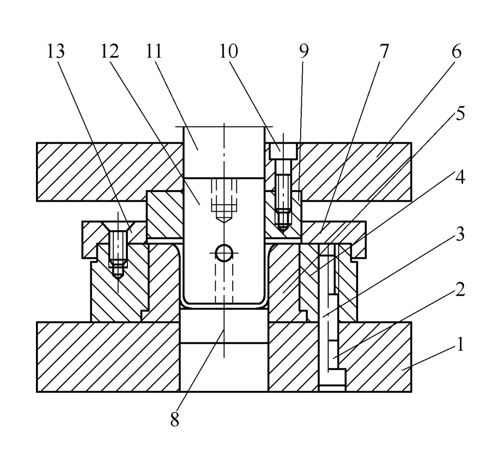


图 1-225　双动压力机用首次拉深模

1—下模座　2、10、13—螺钉　3—销　4—凹模套　5—凹模　6—上模座　7—定位板　8—顶件块　9—压料圈　11—压力机螺杆　12—凸模

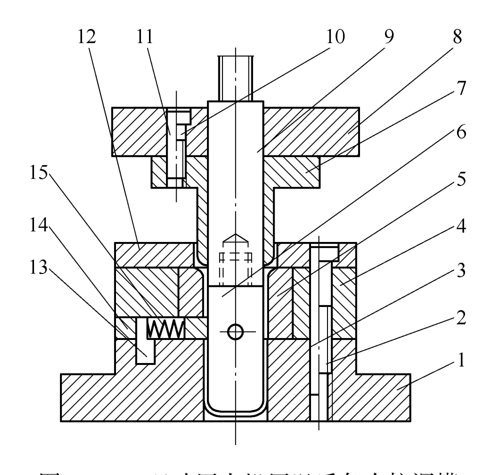


图 1-226　双动压力机用以后各次拉深模

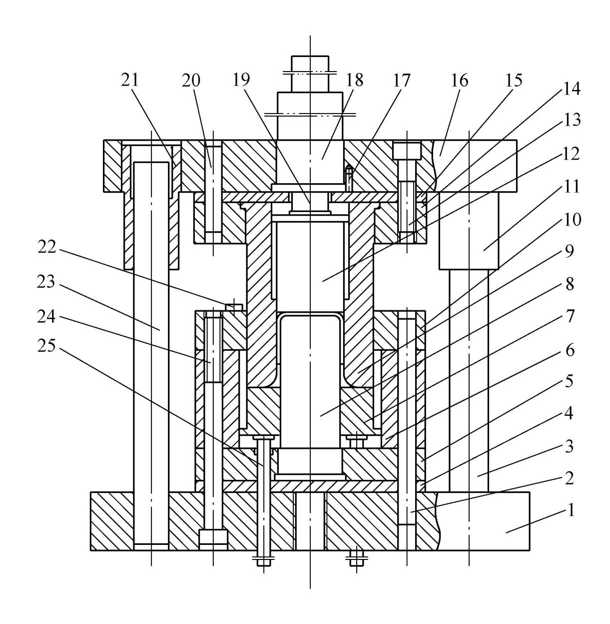
1—下模座　2、10—螺钉　3、11—销　4—凹模套　5—凹模　6—凸模　7—压料圈　8—上模座　9—压力机螺钉　12—定位圈　13—挡销　14—卸料板　15—弹簧

二、复合工序拉深模

1. 落料拉深复合模

图 1-227 所示为落料拉深复合模，用于只需一次拉深成形的中小型拉深件的批量生产。若需多次拉深时，第一次拉深大多采用落料拉深复合模。

为了将落料后箍在凸模上的条料卸下来，当拉深件较高时，一般采用装在下模的固定卸料装置，如图 1-228 所示的固定卸料板 4。当拉深制件高度较小时，可采用装在上模的弹压卸料装置，如图 1-229 所示的弹压卸料板 1。本模具采用拉深件之间无搭边卸料。



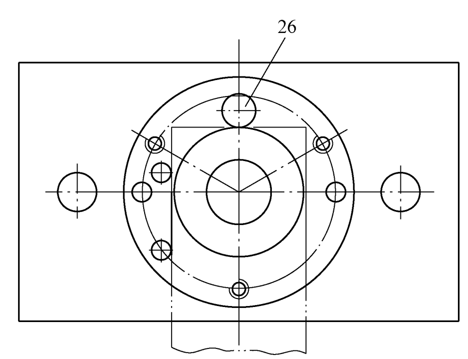


图 1-227 落料拉深复合模

1—下模座 2、17、20—销 3、23—导柱 4、15—垫板 5—凸模固定板 6—中垫板 7—顶件板 8—拉深凸模 9—凸凹模 10—落料凹模 11、21—导套 12—推件块 13、24—螺钉 14—凸凹模固定板 16—上模座 18—模柄 19—打杆 22—导料销 25—顶杆 26—挡料销

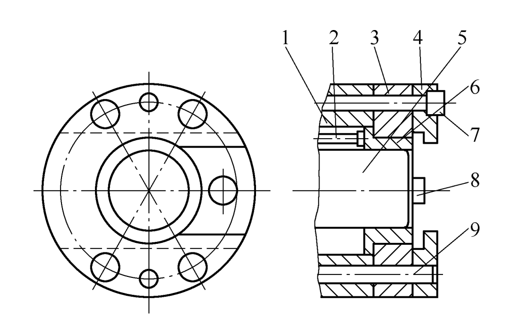


图 1-228 固定卸料装置

1—中垫板 2—连接顶杆 3—落料凹模 4—固定卸料板 5—凸模 6—顶件块 7—螺钉 8—挡料销 9—销

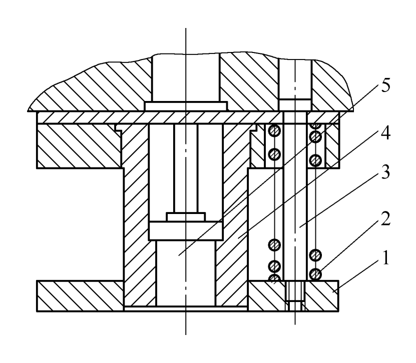
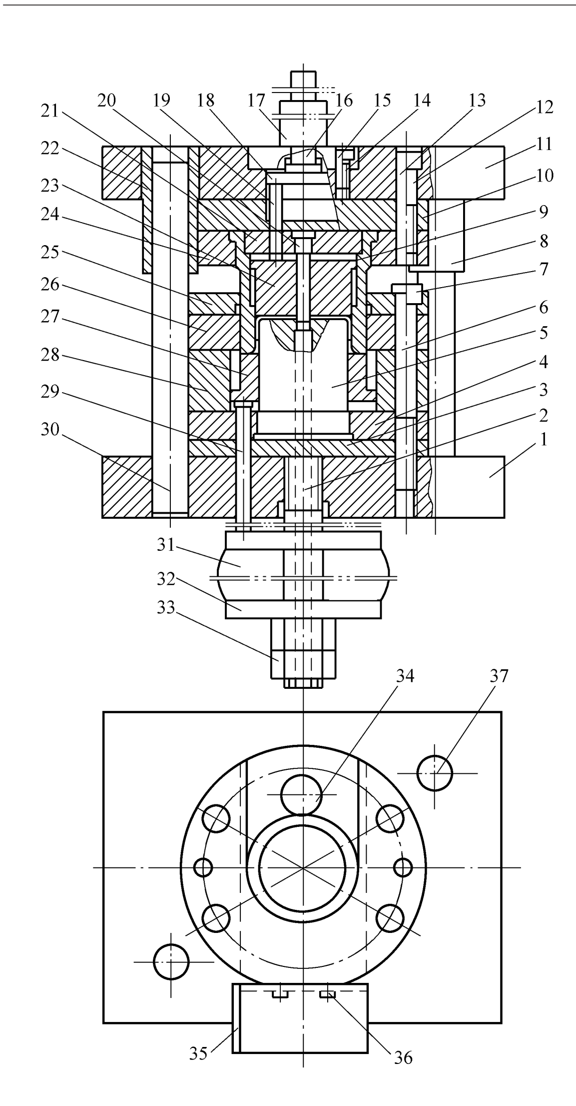


图 1-229 弹压卸料装置

1—弹压卸料板 2—弹簧 3—卸料螺钉 4—凸凹模 5—推件块

2. 落料拉深冲孔复合模

图 1-230 所示为落料、拉深、冲孔复合模，图 1-231 ~ 图 1-252 所示为该模具的主要零件图。



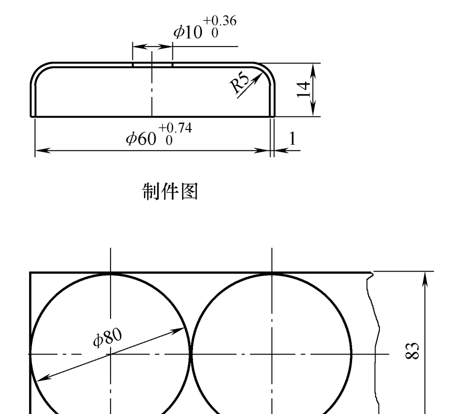


图 1-230　落料、拉深、冲孔复合模

1—下模座　2—螺杆　3、10—垫板　4、24—凸凹模固定板　5、9—凸凹模　6、13、15—销　7、12、14、36—螺钉　8、22—导套　11—上模座　16—打杆　17—模柄　18—推板　19—连接推杆　20—冲孔凸模　21—凸模固定板　23—推件块　25—固定卸料板　26—落料凹模　27—顶件块　28—中垫板　29—连接顶杆　30、37—导柱　31—橡胶　32—托板　33—螺母　34—挡料销　35—承料板

三、圆筒形件拉深模

如图 1-253 所示的拉深件为大量生产，设计拉深模的步骤如下。

1. 计算毛坯直径

$$H/d = 72\text{mm}/(28 + 2)\text{ mm} = 2.4$$

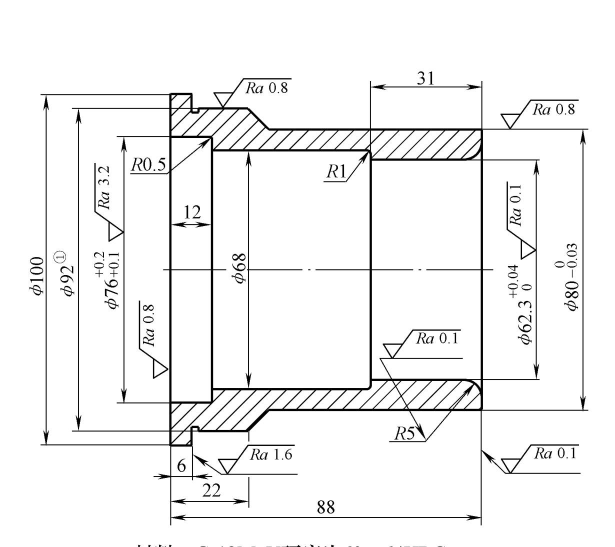
查表 5-1 得　$\Delta h = 5\text{mm}$，$H = 72\text{mm} + 5\text{mm} = 77\text{mm}$

$d_1 = 28\text{mm} - 2 \times 2\text{mm} = 24\text{mm}$

$d_2 = 28\text{mm} + 2\text{mm} = 30\text{mm}$

$r = 2\text{mm} + 1\text{mm} = 3\text{mm}$

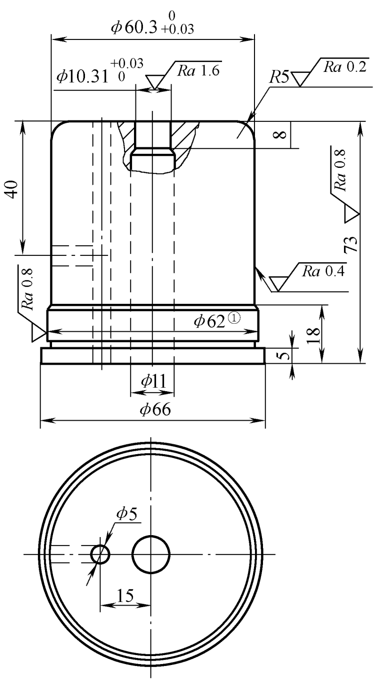
$h = 75\text{mm} + 5\text{mm} - 4\text{mm} = 73\text{mm}$



材料：Gr12MoV硬度为60～64HRC。

①尺寸按凸凹模固定板配作，过盈量小于0.015mm。

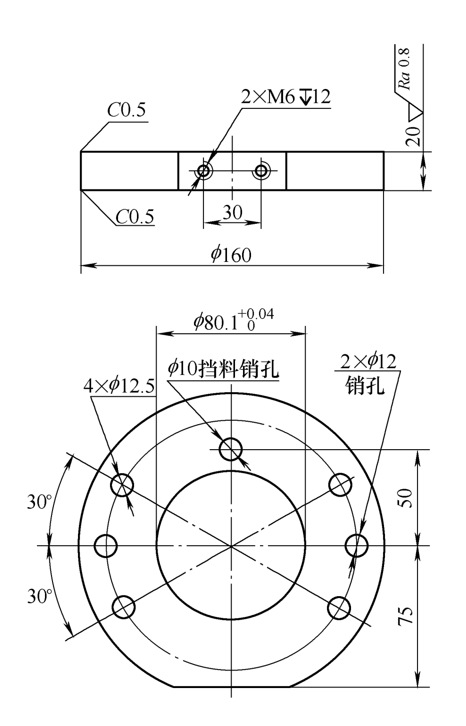
图 1-231　落料拉深凸凹模



材料：GrWMn，硬度为60～64HRC。

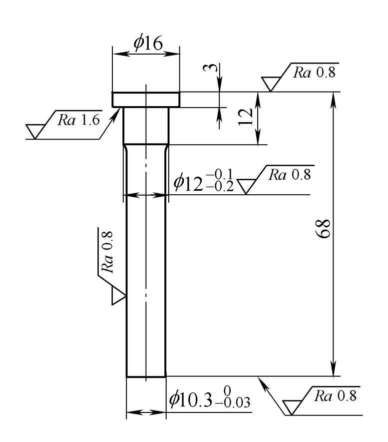
①尺寸按凸凹模固定板配作，过盈量小于0.01mm。

图 1-232　拉深冲孔凸凹模



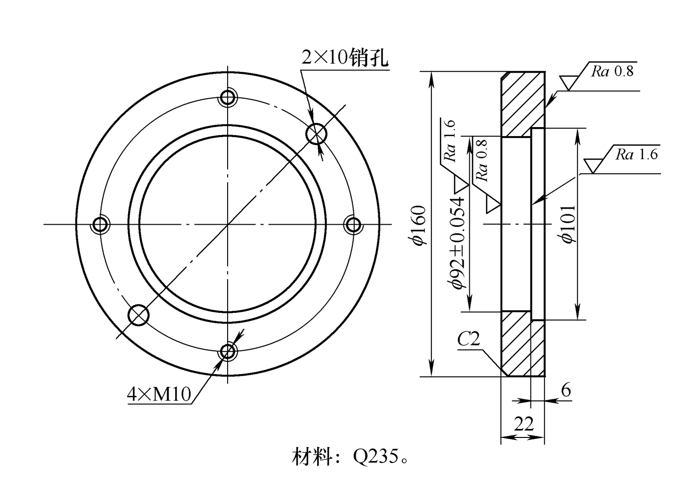
材料：CrWMn，硬度为60～64HRC。

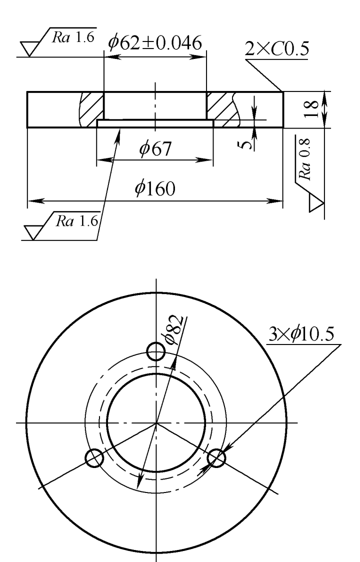
图 1-233　落料凹模



材料：CrWMn，硬度为58～62HRC。

图 1-234　冲孔凸模

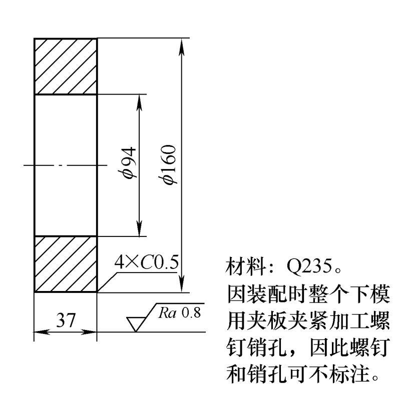




材料：Q235。
因装配时整个下模用夹板夹紧加工螺钉销孔，因此螺钉和销孔可不标注。

图 1-235　落料拉深凸凹模固定板

图 1-236　拉深冲孔凸凹模固定板



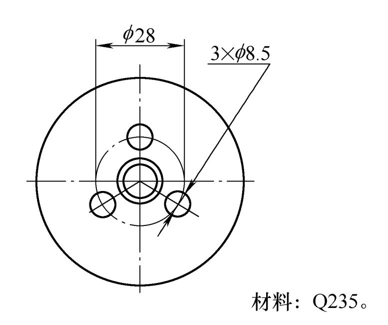
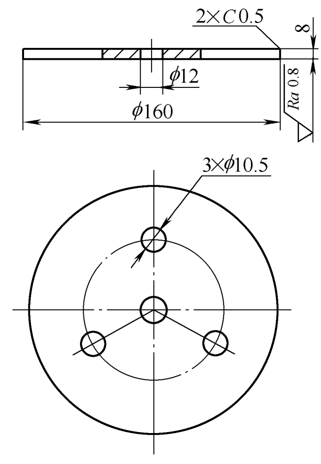


图 1-237　中垫板

图 1-238　冲孔凸模固定板

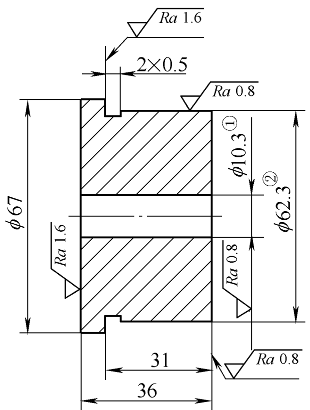
代入表 6-4 序号 15 的公式得

$$D=\sqrt{d_1^2+4d_2h+6.28rd_1+8r^2}$$
$$=\sqrt{24^2+4\times30\times73+6.28\times3\times24+8\times3^2}\text{mm}$$
$$=99.3\text{mm}$$



材料：45钢，硬度为43～48HRC。

图 1-239　垫板

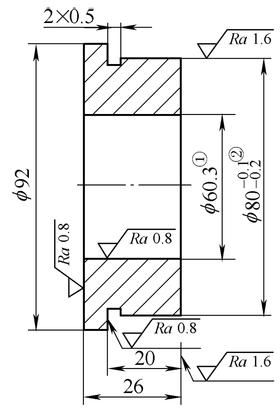


材料：T10A，硬度为56～60HRC。

①尺寸内孔按冲孔凸模配作，双面间隙小于0.01mm。

②尺寸外圆按凸凹模配作，双面间隙小于0.015mm。

图 1-240　推件块

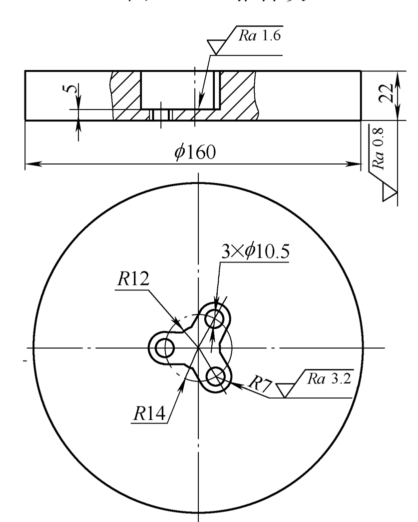


材料：CrWMn，硬度为56～60HRC。

①尺寸按凸凹模配作，双面间隙小于0.015mm，待装配后再按凸凹模配作，双面间隙为0.035～0.04mm。

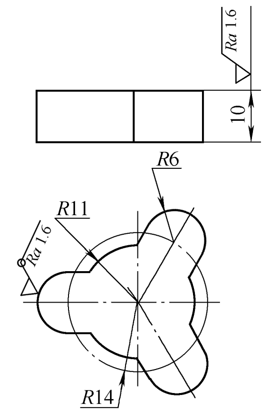
②外圆按落料凹模配作，双面间隙小于0.015mm，待装配后再磨至 $\phi80^{-0.1}_{-0.2}$mm。

图 1-241　顶件块



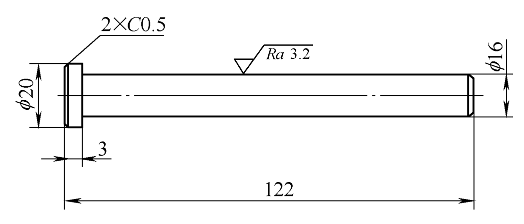
材料：45钢，硬度为43～48HRC。

图 1-242　垫板



材料：45钢，硬度为43～48HRC。

图 1-243　推板



材料：45钢，硬度为43～48HRC。

图 1-244　打杆

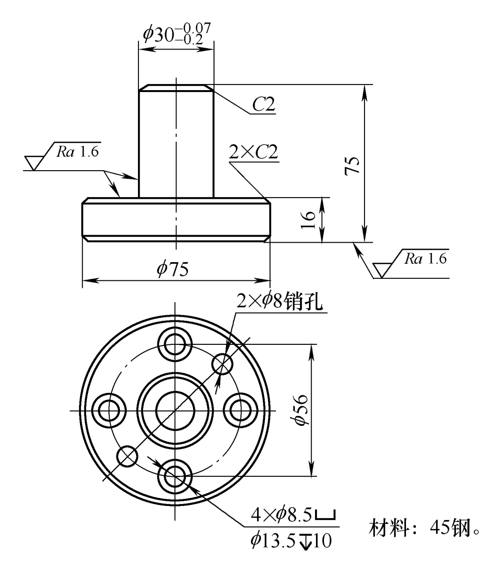


图 1-245　模柄

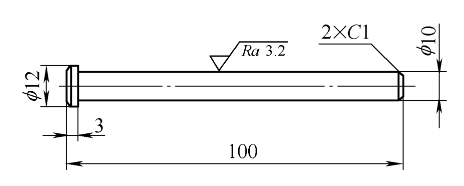
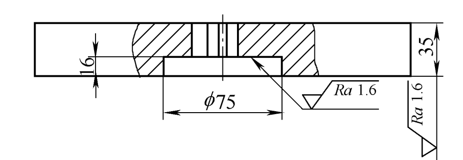


图 1-246　连接顶杆



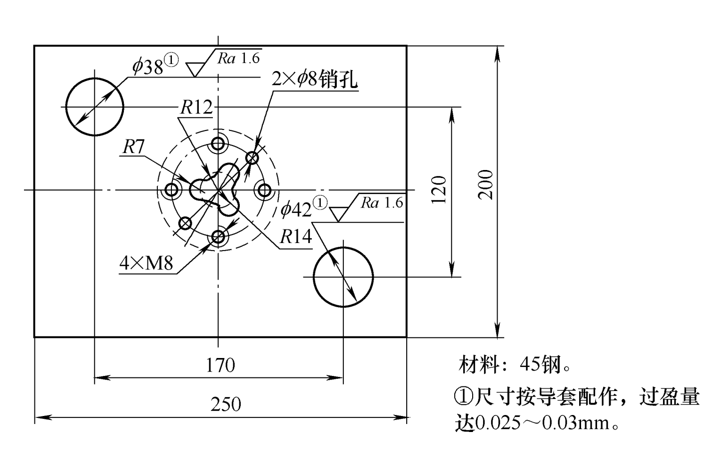


图 1-247　上模座

2. 确定拉深次数

毛坯相对厚度为　　　$(t/D)\times100=(2/99.3)\times100=2.01$

查表 5-11 得拉深系数为 $m_1=0.5$，$m_2=0.72$，$m_3=0.74$，$m_4=0.76$，$m_5=0.78$。

故拉深后的直径分别为：$d_1=m_1D=0.5\times99.3\text{mm}=49.7\text{mm}$

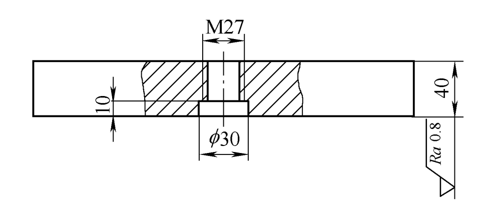
$d_2=m_2d_1=0.72\times49.7\text{mm}=35.8\text{mm}$

$d_3=m_3d_2=0.74\times35.8\text{mm}=26.5\text{mm}$

因为 $d_3=26.5\text{mm}<30\text{mm}$，故三次可拉深成形。

3. 各次拉深工序件尺寸的确定

（1）调整拉深系数，也可加大每次拉深直径，但必须使调整后的每次拉深系数大于原有拉深系数。取 $m_1=0.51$，$m_2=0.75$，$m_3=0.78$。



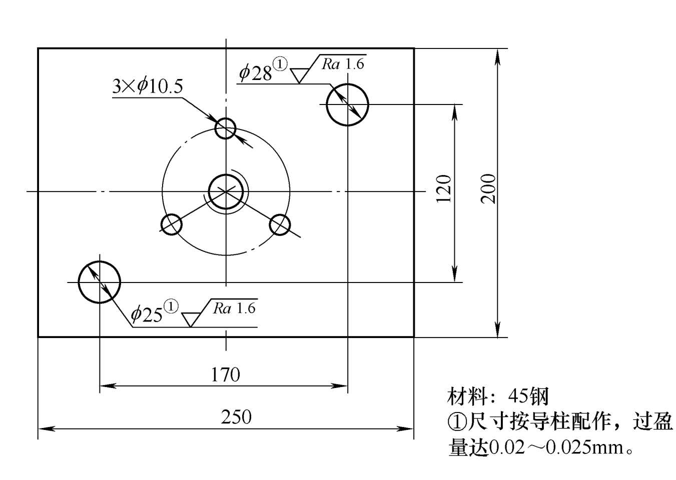


图 1-248　下模座

故调整后的拉深直径为 $d_1 = m_1 D = 0.51 \times 99.3\text{mm} = 50.6\text{mm}$

$d_2 = m_2 d_1 = 0.75 \times 50.6\text{mm} = 38\text{mm}$

$d_3 = m_3 d_2 = 0.78 \times 38\text{mm} = 29.64\text{mm}$，取 30mm，$m_3 = 0.789$。

即各次工序件直径为

$d_1 = 50.6\text{mm}$，$d_2 = 38\text{mm}$，$d_3 = 30\text{mm}$。

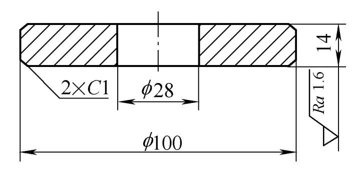


图 1-249　托板

（2）确定凸凹模圆角半径

1）凹模圆角半径，根据式(5-43)得

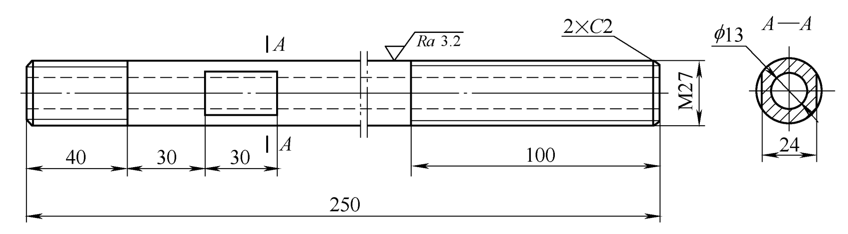


图 1-250　螺杆

$$R_{d_1} = 0.8\sqrt{(D-d)t}$$

$$= 0.8\sqrt{(99.3-52.6)\times 2}\text{mm}$$

$$= 7.7\text{mm}$$

取 $R_{d_1} = 8\text{mm}$

根据式(5-44)得 $R_{d_n} = (0.6 \sim 0.8) R_{d_{n-1}}$

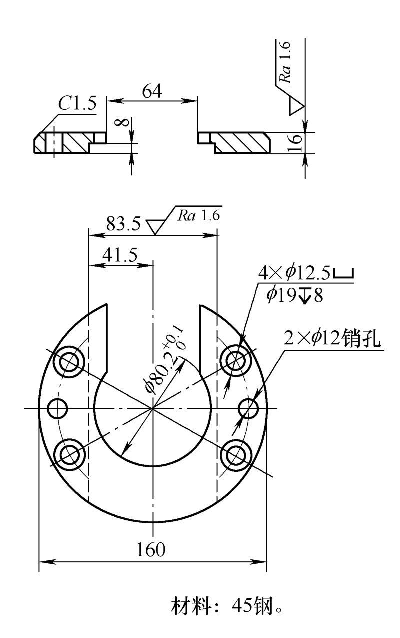


图 1-251　固定卸料板

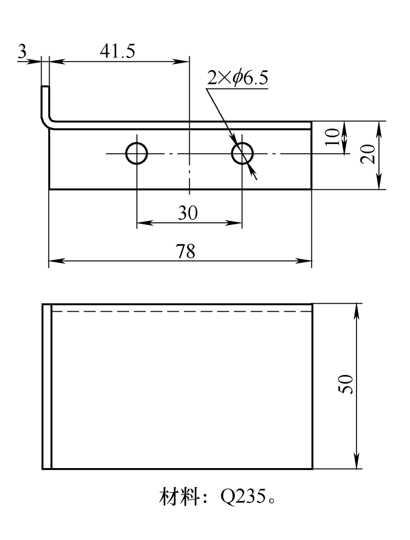


图 1-252　导料板

$$R_{d_2}=(0.6\sim0.8)R_{d_1}=6\mathrm{mm}$$

$$R_{d_3}=(0.6\sim0.8)R_{d_2}=4\mathrm{mm}$$

2）凸模圆角半径，根据式(5-45)得

$$R_p=(0.6\sim1)R_d$$

$$R_{p_1}=(0.6\sim1)R_{d_1}=7\mathrm{mm}$$

R_{p_2}可取 4mm

$$R_{p_3}=R_{工件}=2\mathrm{mm}$$

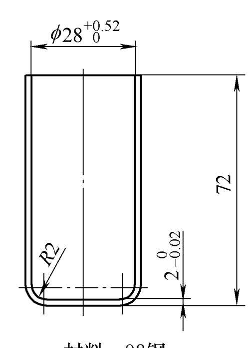


图 1-253　零件图

（3）各次拉深件高度　根据表 5-15 中的计算公式得

$$\begin{aligned}H_1&=0.25\left(\frac{D^2}{d_1}-d_1\right)+0.43\frac{r_1}{d_1}(d_1+0.32r_1)\\&=0.25\times\left(\frac{99.3^2}{50.6}-50.6\right)\mathrm{mm}+0.43\times\frac{8}{50.6}\times(50.6+0.32\times8)\mathrm{mm}\\&=36.1\mathrm{mm}+3.6\mathrm{mm}\\&=39.7\mathrm{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_2&=0.25\left(\frac{D^2}{d_2}-d_2\right)+0.43\frac{r_2}{d_2}(d_2+0.32r_2)\\&=0.25\times\left(\frac{99.3^2}{38}-38\right)\mathrm{mm}+0.43\times\frac{5}{38}\times(38+0.32\times5)\mathrm{mm}\\&=55.4\mathrm{mm}+2.2\mathrm{mm}\\&=57.6\mathrm{mm}\end{aligned}$$

$$H_3=76\mathrm{mm}$$

工序图如图 1-254 所示。

4. 确定拉深模间隙

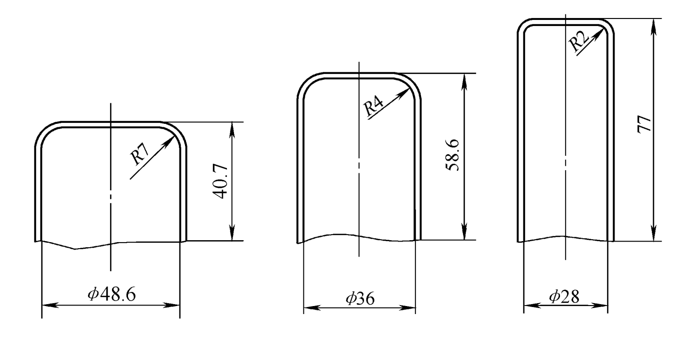


图 1-254　拉深工序图

查表 5-53 得各次拉深的单边间隙为

$$z_1 = 1.2t = 1.2 \times 2\text{mm} = 2.4\text{mm}$$

$$z_2 = 1.1t = 1.1 \times 2\text{mm} = 2.2\text{mm}$$

$$z_3 = (1 \sim 1.05)t = 2.04\text{mm}$$

5. 凸、凹模尺寸计算

根据表 5-54 中的计算公式得凸凹模工作部分的尺寸如下。

(1) 第一次拉深

根据表 5-55 得 $\delta_p = 0.02\text{mm}$，$\delta_d = 0.03\text{mm}$，则

$$d_{p_1} = d_{1\ -\delta_p}^{\ \ 0} = 48.6_{-0.02}^{\ \ 0}\text{mm}$$

$$d_{d_1} = (d_{p_1} + 2z_1)_{\ 0}^{+\delta_d}$$

$$= (48.6 + 2 \times 2.4)_{\ 0}^{+0.04}\text{mm}$$

$$= 53.4_{\ 0}^{+0.04}\text{mm}$$

(2) 第二次拉深

根据表 5-55 得 $\delta_p = 0.02\text{mm}$，$\delta_d = 0.03\text{mm}$，则

$$d_{p_2} = d_{2\ -\delta_p}^{\ \ 0} = 36_{-0.02}^{\ \ 0}\text{mm}$$

$$d_{d_2} = (d_{p_2} + 2z_1)_{\ 0}^{+\delta_d}$$

$$= (36 + 2 \times 2.2)_{\ 0}^{+0.04}\text{mm}$$

$$= 40.4_{\ 0}^{+0.04}\text{mm}$$

(3) 第三次拉深

根据表 5-55 得 $\delta_p = 0.01\text{mm}$，$\delta_d = 0.02\text{mm}$，则

$$d_{p_3} = (d_{\min} + 0.4\Delta)_{-\delta_p}^{\ \ 0}$$

$$= (28 + 0.4 \times 0.52)_{-0.01}^{\ \ 0}\text{mm}$$

$$= 28.2_{-0.03}^{\ \ 0}\text{mm}$$

$$d_{d_3} = (d_{p_3} + 2z)_{\ 0}^{+\delta_d}$$

$$= (28.2 + 2 \times 2.04)_{\ 0}^{+0.04}\text{mm}$$

$$= 32.2_{\ 0}^{+0.04}\text{mm}$$

6. 模具结构设计

由于零件为大量生产，故采用：1）落料拉深复合模，2）第二次拉深模，3）第三次拉深模，共三副模具。

落料拉深复合模如图 1-227 所示，各零件的尺寸关系如图 1-255 所示，主要零件如图 1-256 ~ 图 1-265。

第二次和第三次拉深模结构（图 1-224）相同，其中凹模可采用整体式结构，也可采用镶套式结构。第二次拉深设计成整体式的，第三次拉深设计成镶套式的。第二次和第三次拉深时，主要零件的尺寸关系如图 1-266 所示，第二次拉深的主要零件如图 1-267 ~ 图 1-274 所示，第三次拉深的主要零件如图 1-275 ~ 图 1-279 所示。

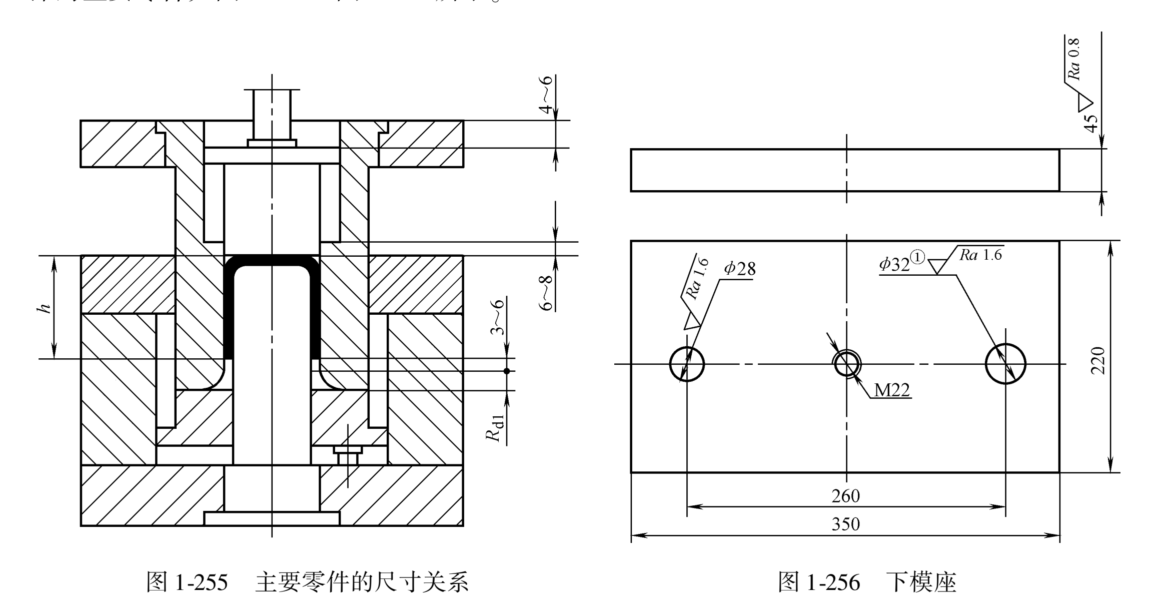
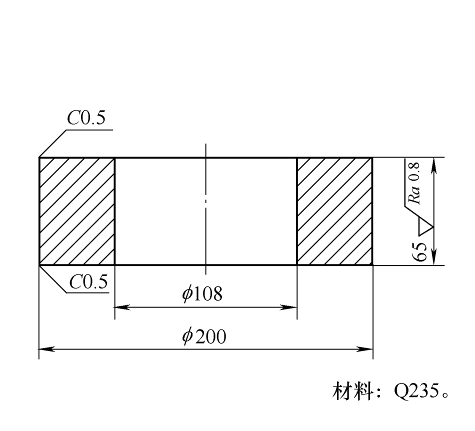


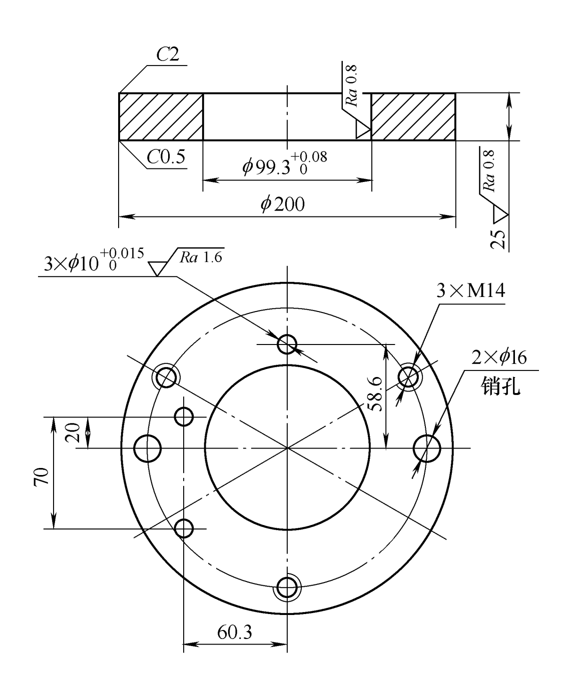
图 1-255　主要零件的尺寸关系

图 1-256　下模座



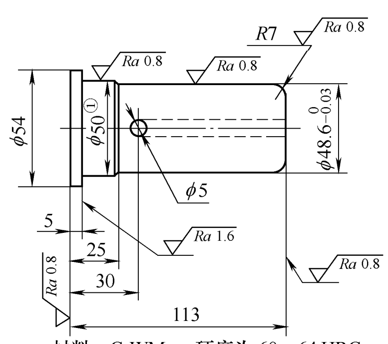
材料：Q235。

图 1-257　中垫板



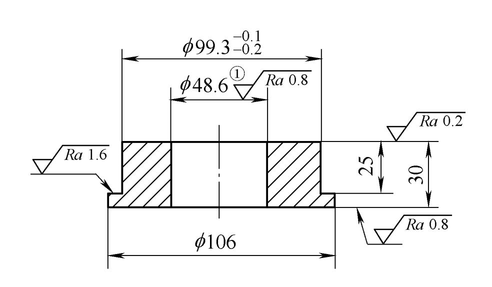
材料：CrWMn，硬度为 60～64HRC。

图 1-258　凹模



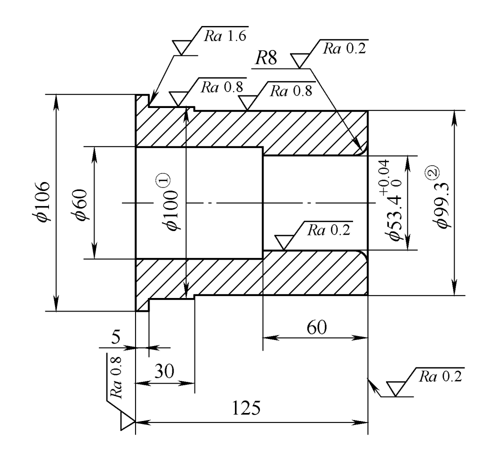
材料：CrWMn，硬度为 60～64 HRC。
①尺寸按拉深凸模固定板配作，过盈量小于 0.015mm。

图 1-259 拉深凸模



材料：T10A，硬度为 58～62HRC。
①尺寸按拉深凸模配作，双面间隙小于 0.025mm。

图 1-260 顶件板



材料：Cr12MoV，硬度为 60～64HRC。
①尺寸按凸凹模固定板配作,过盈量小于 0.015mm。
②尺寸按凹模配作，双面间隙达 0.3mm。

图 1-261 落料拉深凸凹模

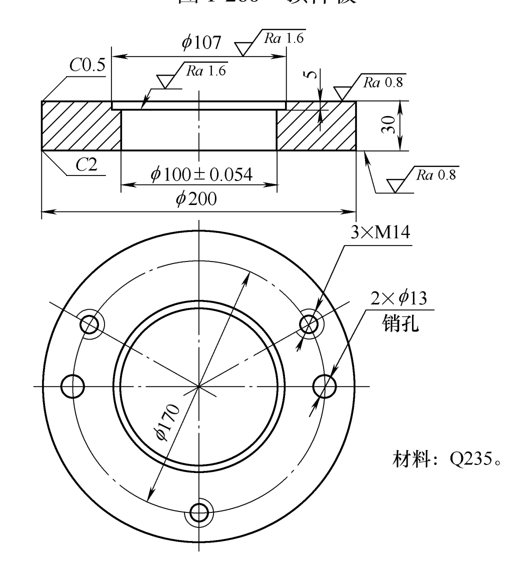
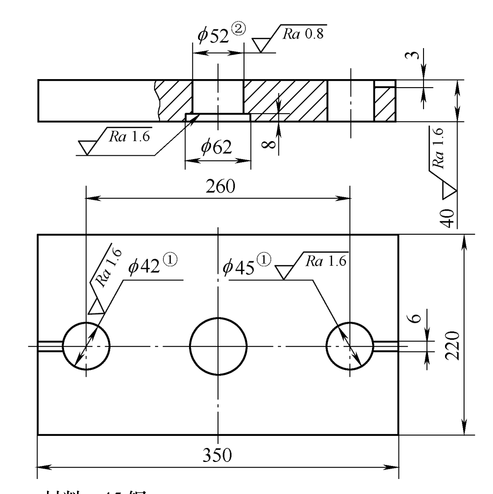
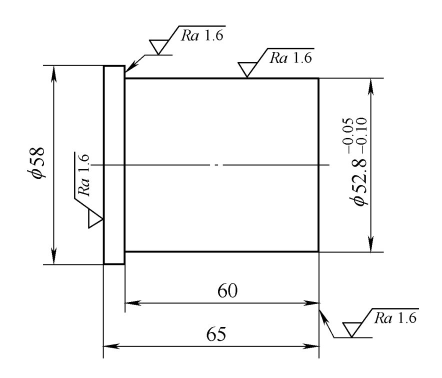


图 1-262 落料拉深凸凹模固定板



材料：45 钢。
①尺寸按导套配作，过盈量为 0.025～0.035mm。
②尺寸按模柄配作，过盈量小于 0.015mm。

图 1-263 上模座



材料：45 钢，硬度为 43～48HRC。

图 1-264 推件块

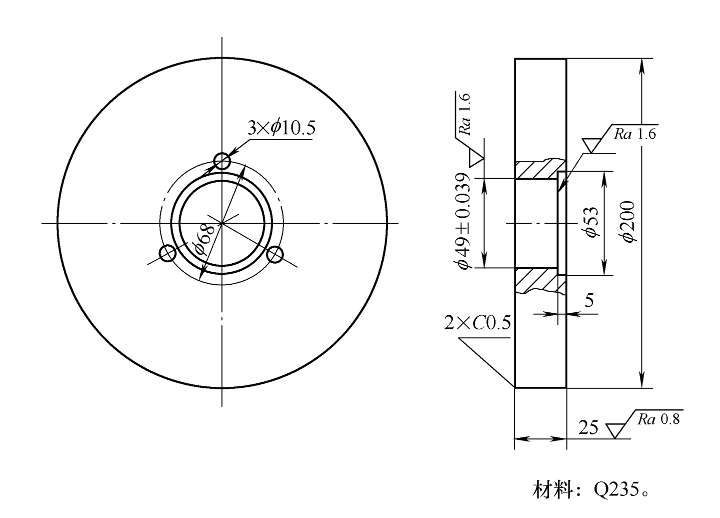


图 1-265　拉深凸模固定板

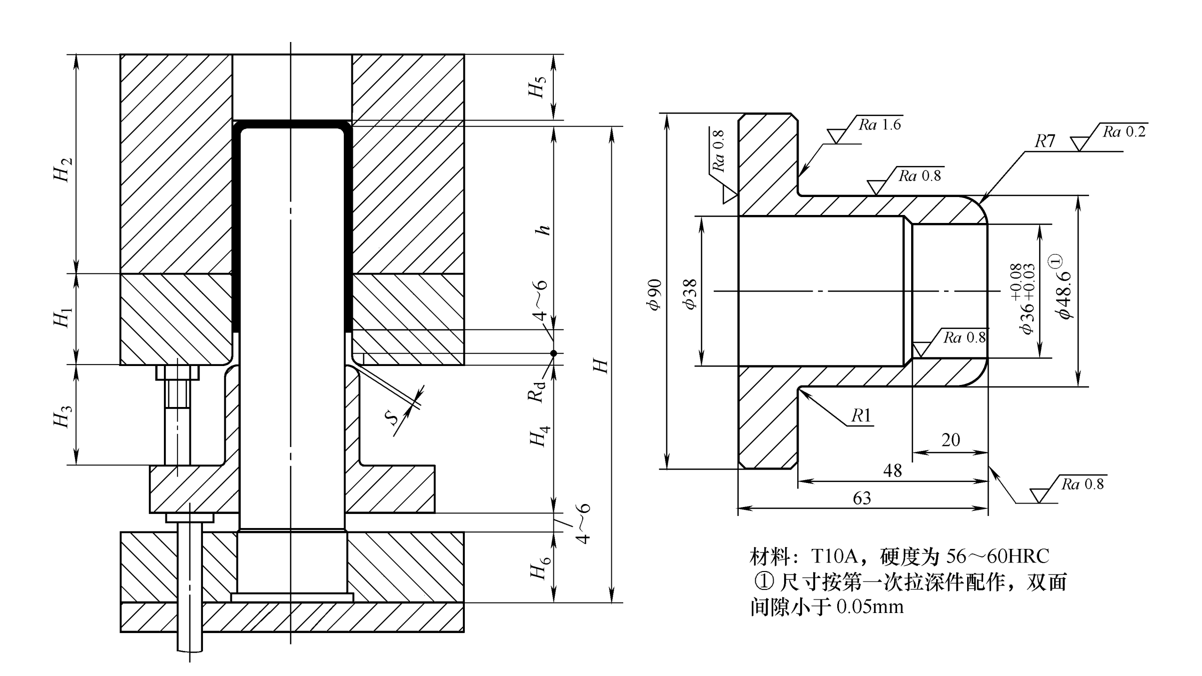
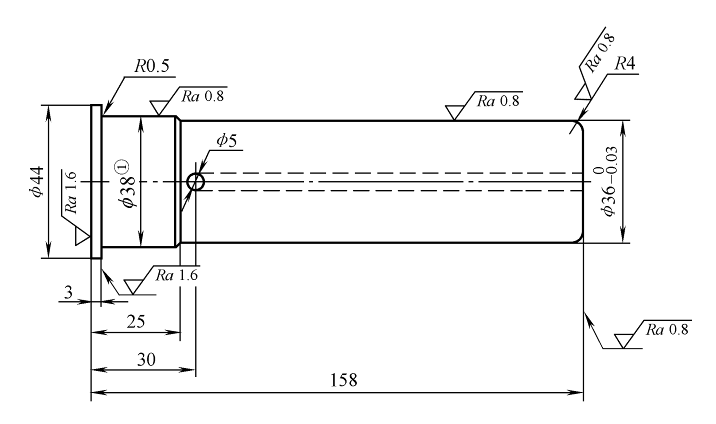


图 1-266　主要零件的尺寸关系

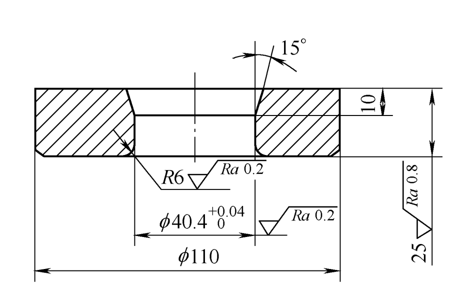
h—本次拉深工序件高度　R_d—拉深凹模圆角半径　H_1—拉深凹模厚度　H_2—中垫板厚度　H_3—定位套定位部分长度大于上一次拉深件高度 4～8mm　H_4—定位套总长　H_5—推件板厚度　H_6—拉深凸模固定板厚度　H—拉深凸模长度

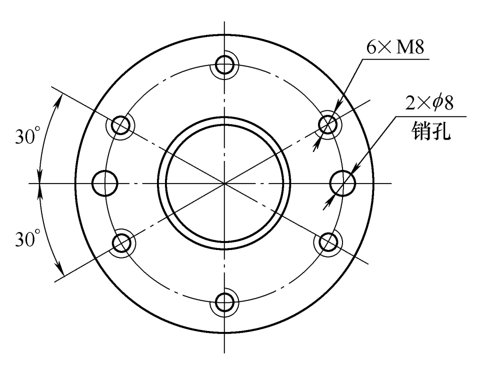
图 1-267　定位套



材料：CrWMn，硬度为 58～62HRC
①尺寸按固定板配作，过盈量小于 0.015mm

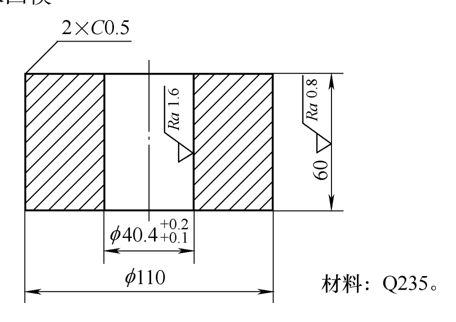
图 1-268　拉深凸模





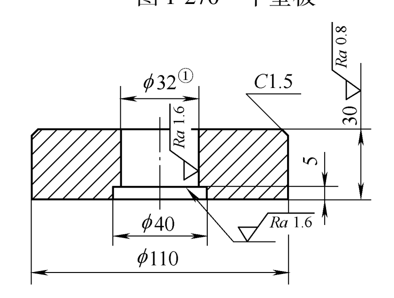
材料：Cr12MoV，硬度为 60～64HRC。

图 1-269　拉深凹模



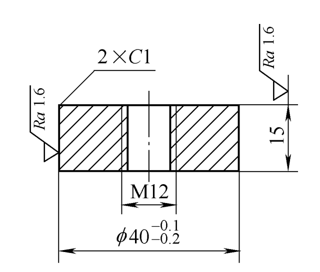
材料：Q235。

图 1-270　中垫板



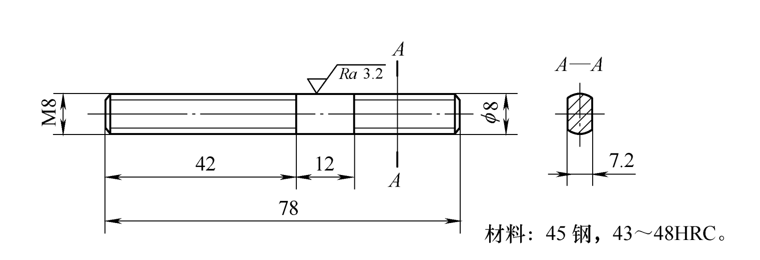
材料：Q235.
①尺寸按模柄配作，过盈量小于 0.01mm，装配后安装止转销。

图 1-271　上模座



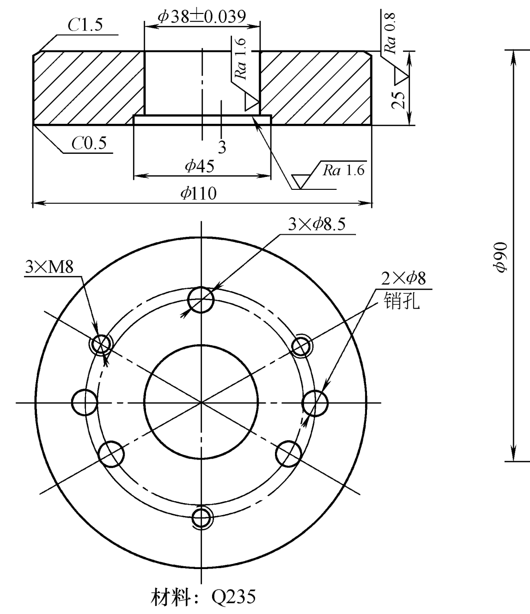
材料：45 钢，硬度为 43～48HRC。

图 1-272　推件板



材料：45 钢，43～48HRC。

图 1-273　调压杆



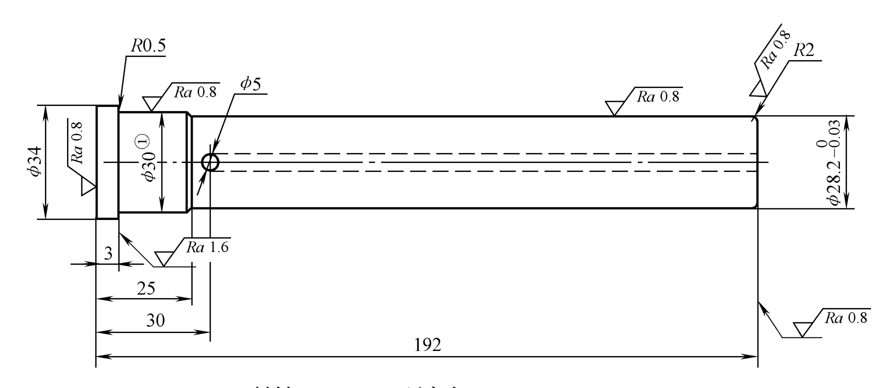
材料：Q235

图 1-274　拉深凸模固定板

2×C1
R4
Ra 0.2
R1
Ra 0.8
Ra 0.8
φ90
φ30
$\phi28.2^{+0.08}_{+0.03}$
φ36①
Ra 0.8
Ra 1.6
22
Ra 0.2
64
80

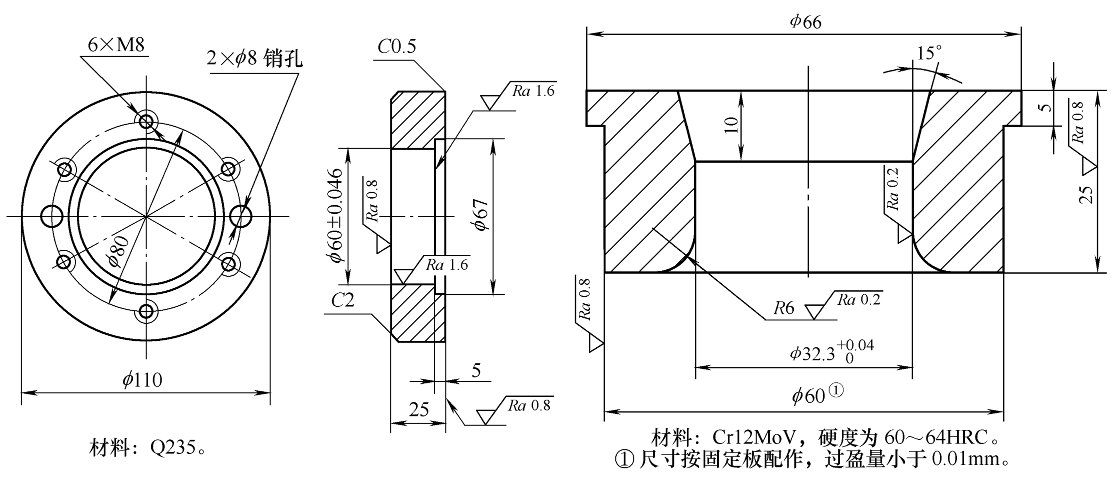
材料：T10A，硬度为 56～60HRC。

图 1-275　定位套



材料：CrWMn，硬度为 58～62HRC。
①尺寸按固定板配作，过盈量小于 0.015mm。

图 1-276　拉深凸模



材料：Q235。

图 1-277　拉深凹模固定板

材料：Cr12MoV，硬度为 60～64HRC。
①尺寸按固定板配作，过盈量小于 0.01mm。

图 1-278　拉深凹模

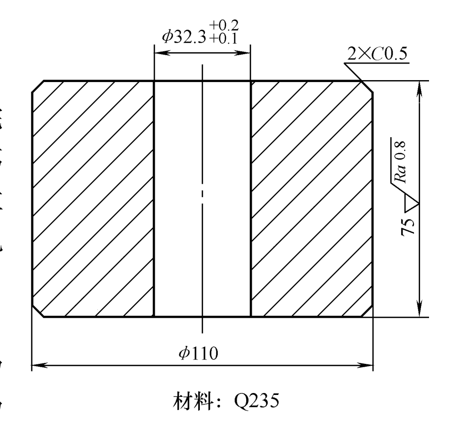
四、宽凸缘筒形拉深件模

1. 拉深件的工艺设计

图 1-280 所示为拉深件的工艺设计，共分 8 道工序完成拉深件的拉深过程。带宽凸缘筒形件的拉深必须保证第一次拉深已经成形的凸缘尺寸保持不变，因为在以后的拉深工序中，既使凸缘部分产生很小的变形，筒壁传力区也会产生很大的拉应力，从而使危险断面拉裂。

2. 拉深模设计

图 1-281 ~ 图 1-288 所示为 8 道工序拉深模，工序 1 为落料拉深复合模，工序 2 ~ 7 为单工序拉深模，工序 8 为整形。在工序 1 ~ 8 中，为了有利于拉深成形和从拉深凸



材料：Q235

图 1-279　中垫板

图 1-280　宽凸缘筒形拉深件工艺设计

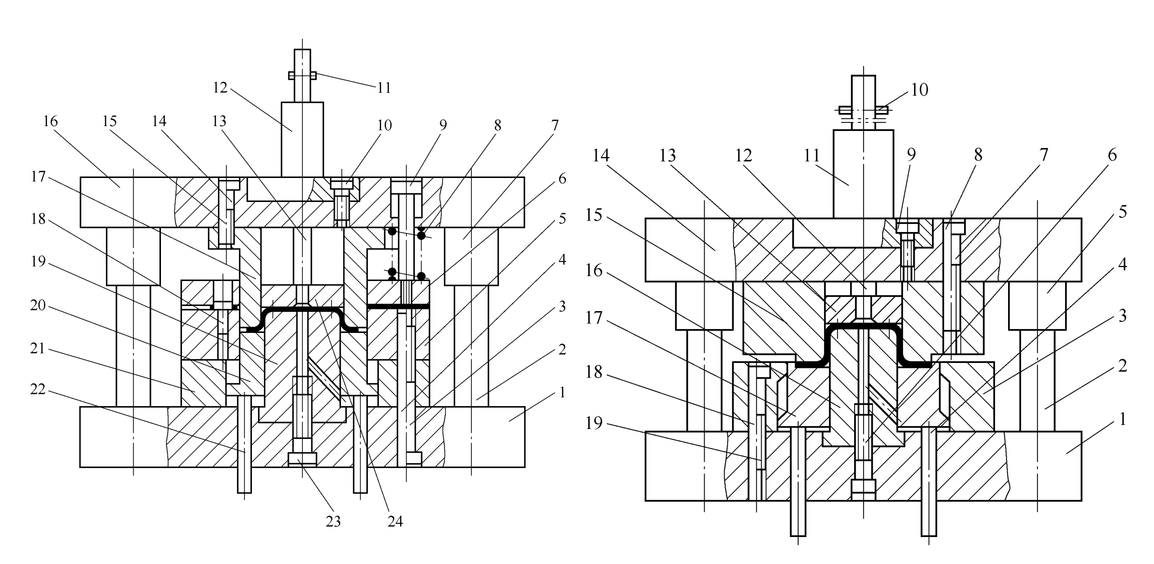


图 1-281　落料拉深复合模

1—下模座　2—导柱　3、10、14、23—螺钉　4、11、15—销　5—落料凹模　6—弹压卸料板　7—导套　8—弹簧　9—弹压螺钉　12—模柄　13—打杆　16—上模座　17—落料拉深凸凹模　18—挡料销和导料销　19—拉深凸模　20—顶件块　21—中垫板　22—顶杆　24—推板

图 1-282　第二次拉深模

1—下模座　2—导柱　3—导板　4—顶杆　5—导套　6、7、9、19—螺钉　8、10、18—销　11—模柄　12—打杆　13—推板　14—上模座　15—拉深凹模　16—拉深凸模　17—顶件块

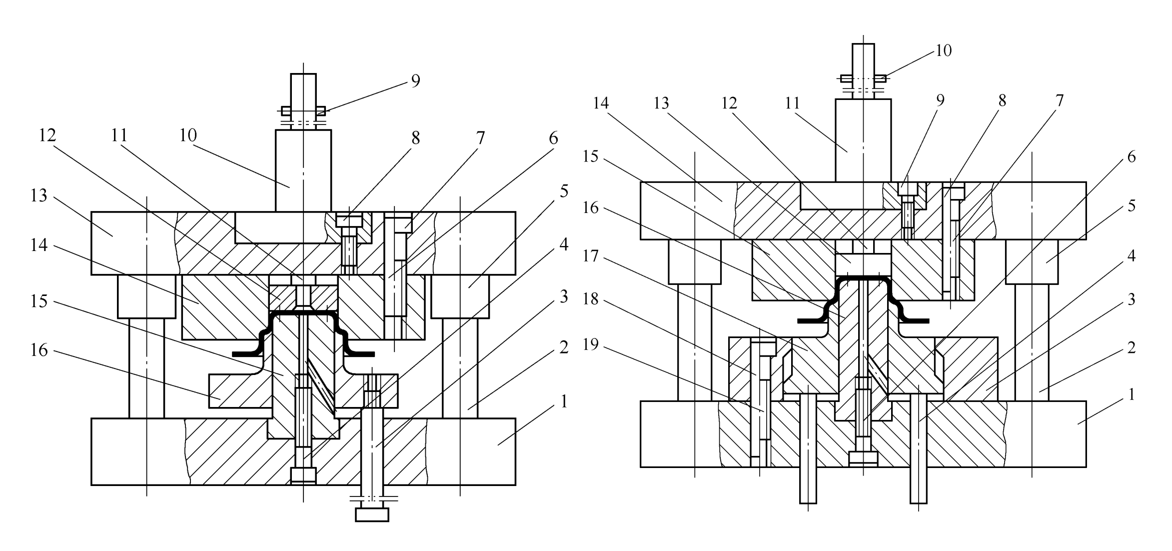


图 1-283　第三次拉深模

1—下模座　2—导柱　3—弹压螺钉　4、7、8—螺钉　5—导套　6、9—销　10—模柄　11—打杆　12—推板　13—上模座　14—拉深凹模　15—拉深凸模　16—定位套

图 1-284　第四次拉深模

1—下模座　2—导柱　3—导板　4—顶杆　5—导套　6、7、9、19—螺钉　8、10、18—销　11—模柄　12—打杆　13—推板　14—上模座　15—拉深凹模　16—拉深凸模　17—定位套

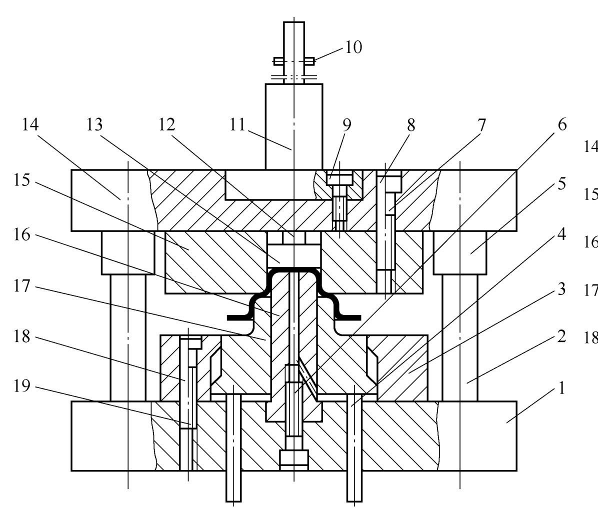


图 1-285　第五次拉深模

1—下模座　2—导柱　3—导板　4—顶杆　5—导套　6、7、9、19—螺钉　8、10、18—销　11—模柄　12—打杆　13—推板　14—上模座　15—拉深凹模　16—拉深凸模　17—定位套

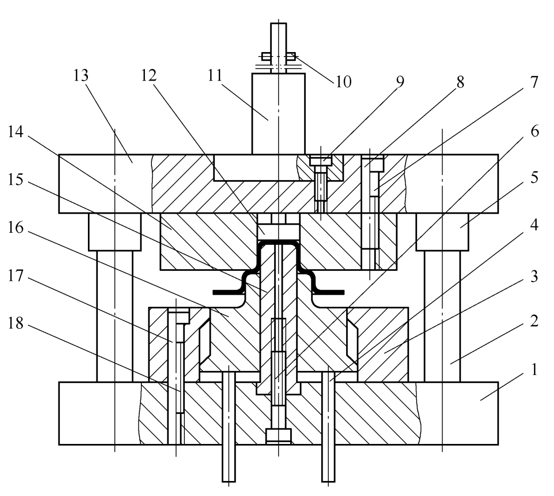


图 1-286　第六次拉深模

1—下模座　2—导柱　3—导板　4—顶杆　5—导套　6、7、9、18—螺钉　8、10、17—销　11—模柄　12—打杆　13—上模座　14—拉深凹模　15—拉深凸模　16—定位套

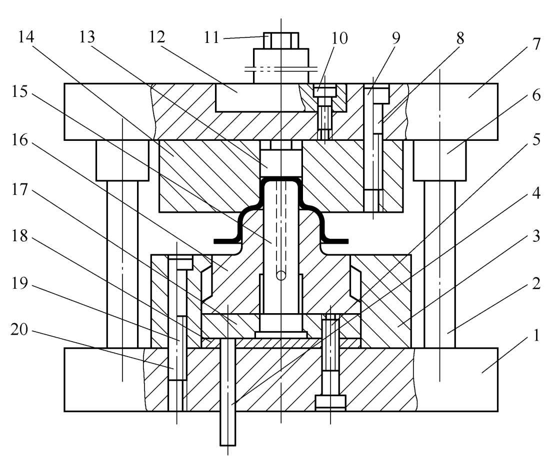


图 1-287　第七次拉深模

1—下模座　2—导柱　3—导板　4—顶杆　5、8、10、19—螺钉　6—导套　7—上模座　9、20—销　11—螺母　12—模柄　13—打杆　14—拉深凹模　15—拉深凸模　16—定位套　17—凸模固定板　18—垫板

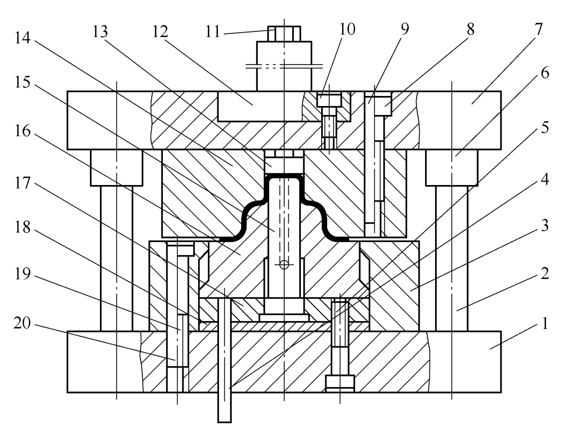


图 1-288　第八次整形模

1—下模座　2—导柱　3—导板　4—顶杆　5、8、10、19—螺钉　6—导套　7—上模座　9、20—销　11—螺母　12—模柄　13—打杆　14—拉深凹模　15—拉深凸模　16—定位套　17—凸模固定板　18—垫板

模上退下拉深件，凸模上都设有出气孔。为了有较好的压料效果，拉深工序都采用气垫压料装置。工序 2 的压料板上有定位槽，工序件 1 凸缘放在槽内初定位，而后用凹模 15 上的圆角导正。本套模具均采用打杆机构将拉深件从凹模中推出，而后用压缩空气吹出。

五、变薄拉深模

1. 变薄拉深模

图 1-289 所示为变薄拉深模，其上、下模均采用通用模座，目的是快速更换凸、凹模，不但维

修方便，而且可拉深不同尺寸的拉深件。上、下模均采用螺纹套紧固，上模还采用带槽的弹性夹头1，使凸模3紧固牢靠和准确定位。拉深凹模采用阶梯式两层凹模，变薄拉深各工序尺寸见表1-5。

表1-5　变薄拉深各工序尺寸　（单位：mm）

尺寸	变薄拉深工序					
	毛坯	1	2	3	4	5
d	28	23.3	23	22.7	22.4	22.1
D	36.4	29.8	27.88	26.1	24.8	24.2
H	21.5	34.7	43	62	87	>96.5
R	6	3	3	3	3	3

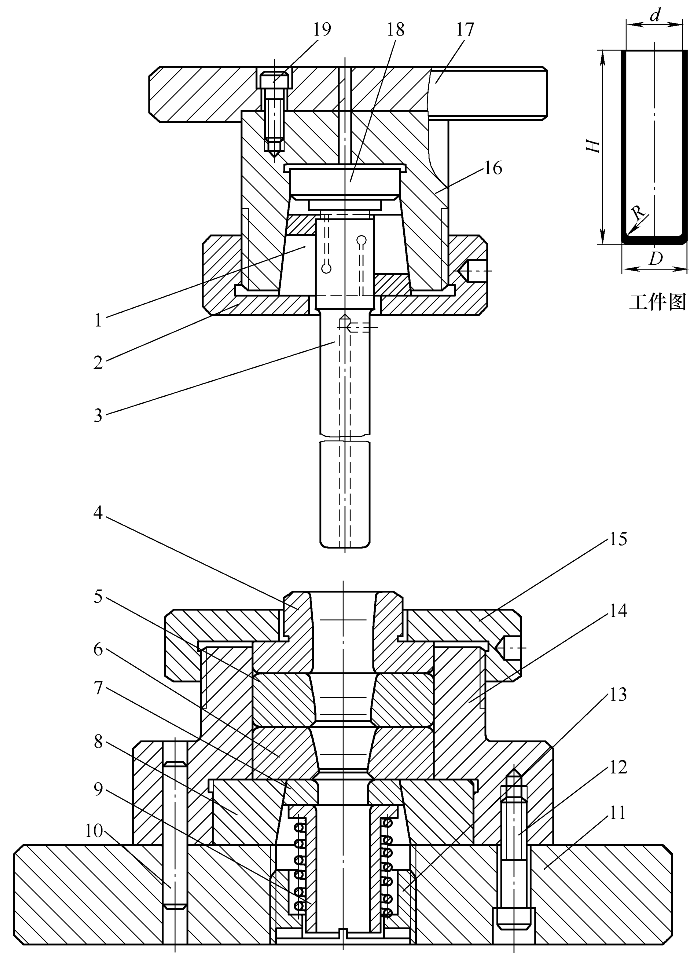


图1-289　变薄拉深模

1—弹性夹头　2—螺纹套　3—凸模　4—定位套　5—上凹模　6—下凹模　7—卸料板
8—锥形垫板　9—导料管　10—销　11—下模座　12、19—螺钉　13—螺塞
14—凹模固定板　15—螺纹套　16—凸模固定板　17—上模座　18—垫板

2. 旋转变薄拉深模

图1-290所示为旋转变薄拉深模。旋转拉深的基本过程为：将管料套在拉深凸模上，钢球套在凹模中，凹模（或凸模）装在机床主轴上并随主轴旋转，凸模（或凹模）装在机床滑板上并随滑板进给，管坯与钢球的相对转动及移动加之钢球本身的自转，迫使材料逐点产生塑性流动并变薄。

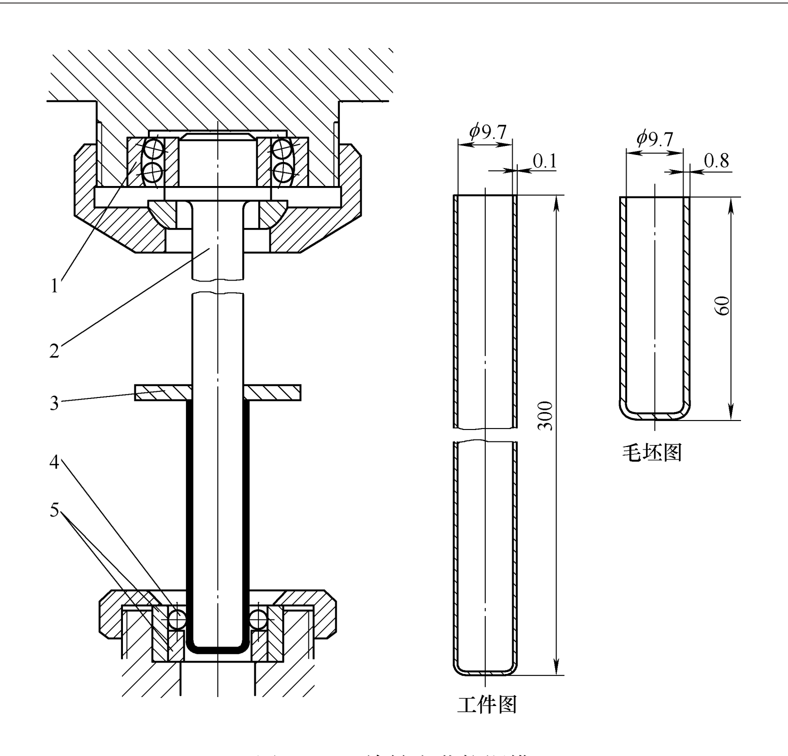


图 1-290　旋转变薄拉深模

1—向心球面轴承　2—凸模　3—卸料板　4—钢球　5—凹模

为保证凸凹模之间有较高的同轴度，凸模装在浮动模柄上，采用向心球面轴承，凸模可以在任何方向摆动，以补偿机床，模具制造、安装造成的同轴度误差。

六、带料连续拉深级进模

1. 电位器外壳连续拉深级进模

图 1-291 所示为电位器外壳，厚度为 0. 5mm 的冷轧钢带。

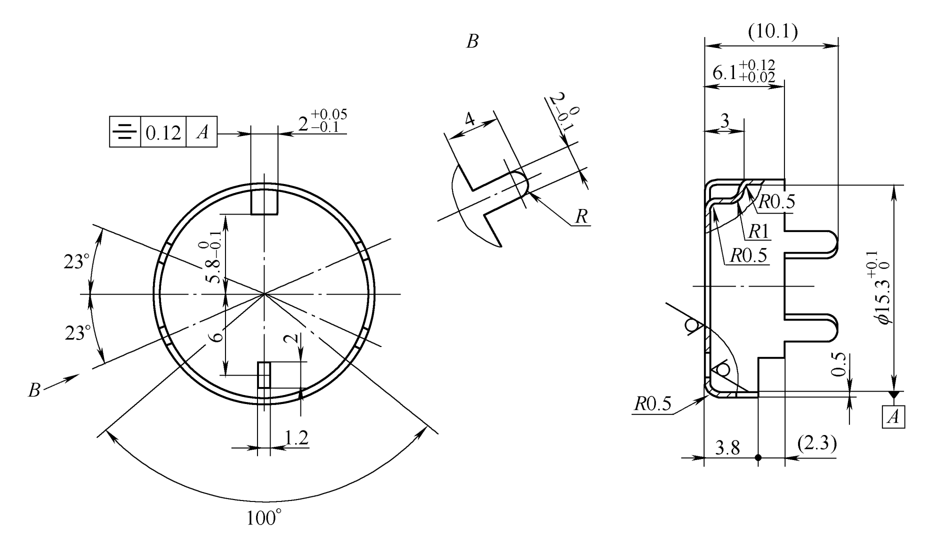


图 1-291　电位器外壳

（1）制件的工艺分析　制件的外形比较特殊，在内径 $\phi15.3^{+0.1}_{0}$ mm 圆筒的端面上，中心角 100°范围内有高为 2. 3mm 的缺口，中心角 23°对称位置有 4 个 $2^{0}_{-0.1}$ mm ×4mm（B 向）凸耳，外壳底

部有 2mm × 1.2mm 的长方孔，角部有高 3mm、宽 $2^{+0.05}_{-0.1}$mm 的止挡台。该制件成形有如下特点：

1）圆柱面缺口的形成，即在中心角 100°的范围内，高 2.3mm 的缺口形状采用何种工艺方法加工形成。如果缺口在拉深成形后再在模具内切除，必须采用横向冲切结构，使模具结构变得较为复杂，排除切下来的废料也有困难；若在模具外再切除，必须增加生产工序，生产率低。如果采用平面冲裁后再拉深成缺口形状，尺寸难以保证，必须经过反复分析研究和试验以后，才能得到满意的形状和尺寸。

2）底部长方孔和止挡台能否在同一工序中冲压成形，如何保证止挡台对制件轴线的对称度，以及小凸模断面小、易折断的控制和保护。

3）4 个凸耳的成形，既要保证 4 个凸耳的拉直，又要保证制件凸耳在带料上切开后不能离开带料，只有这样拉直工序才能进行。

（2）制件的冲压工艺设计

1）排样。根据制件的特点并经反复分析研究后确定，圆柱面缺口采用在平面上冲出，然后拉深成形，使得模具结构简单化。由于制件的精度要求较高，筒底圆角半径较小，因而采用一次拉深，包括冲止挡台在内的三次拉深整形共 4 个工位完成圆筒形拉深成形；接着冲小长方孔和切开带凸耳的外形，但切开后不能离开带料；最后靠翻边拉直小凸耳并落下制件的方法完成制件的全部冲压加工。

排样图如图 1-292 所示，料宽为 $31.5^{\ 0}_{-0.1}$mm，步距为 28mm，共设置 9 个工位，各工位冲压内容为：①冲工艺槽，为拉深作准备；②冲缺口，为拉深形成圆柱面缺口做准备；③第一次拉深，内径基本达到制件要求，但两处圆角 R 比较大；④第二次拉深重点减小圆角 R；⑤冲止挡台，进一步减小圆角 R；⑥整形，使内径和圆角 R 都达制件要求；⑦冲长方孔；⑧切开外形并将切开后的外形反压入带料中；⑨翻边拉直凸耳并落料。

2）制件成形高度。工位③、④的拉深高度为 5.3mm，工位⑤、⑥、⑦、⑧为 5.6mm，制件的高度 $6.1^{+0.12}_{+0.02}$mm 和凸耳高度 10.1mm 是在工位⑨落料时通过翻边拉直达到的。

3）拉深间隙。制件的拉深凸模直径在各次拉深中是不变的，为了提高前几道拉深凹模的寿命，间隙取大一些；最后一次为了保证制件的尺寸精度，间隙取小一些。因而首次拉深单边间隙取 $1.1t$（t 为材料厚度），第二次拉深取 $1.05t$，工位⑤取 $1.05t$，工位⑥取 $1.03t$，工位⑦取 t，工位⑧最后翻边拉直时取 $0.97t$，目的是保证 $\phi15.3^{+0.1}_{\ 0}$mm 的尺寸精度。

4）制件中心角 100°范围内高 2.3mm 缺口尺寸的确定。根据理论分析和实验确定如图 1-293 所示尺寸，其中 $R10.6$mm 是根据缺口高度按筒形件毛坯展开尺寸计算得到的。中心角 53°40′控制拉深后缺口的宽度尺寸，侧边角 51°20′控制缺口两直边对筒形件轴线的平行度。这两个角度直接影响到成形后缺口的几何公差和尺寸大小，所以非常关键。图 1-294a 所示为制件拉深成形后的理想外形，图 1-294b 所示为制件展开后的毛坯尺寸。在拉深过程中，由于应力应变的复杂变化，切向压应力大，必须使毛坯中心角 α' 大于制件中心角 α，才能保证拉深后缺口中心角符合要求。实践证明，α' 与 α 大小的差异与制件缺口相对高度 h/D 有关，h/D 越大，则是 α' 与 α 的差异越大。

为了保证缺口两直边 A 对筒形轴线的平行度，在毛坯的两侧增加边角 β，其大小与相对高度有关。由于 $H/D > h/D$，筒形件缺口上部受到的切向压应力大于缺口部的切向压应力。若毛坯图上仅有 α' 角，或 β 角太小，则拉深后必然出现如图 1-294c 所示的情况，即缺口上部小、下部大的倾斜形状。为了克服该缺陷，必须增大 β 角，若 β 角过大，会出现如图 1-294d 所示的情况，即缺口上部大、下部小的倾斜形状，因此，只有在 α' 和 β 取得合理时，才能达到如图 1-294a 所示的理想状况。

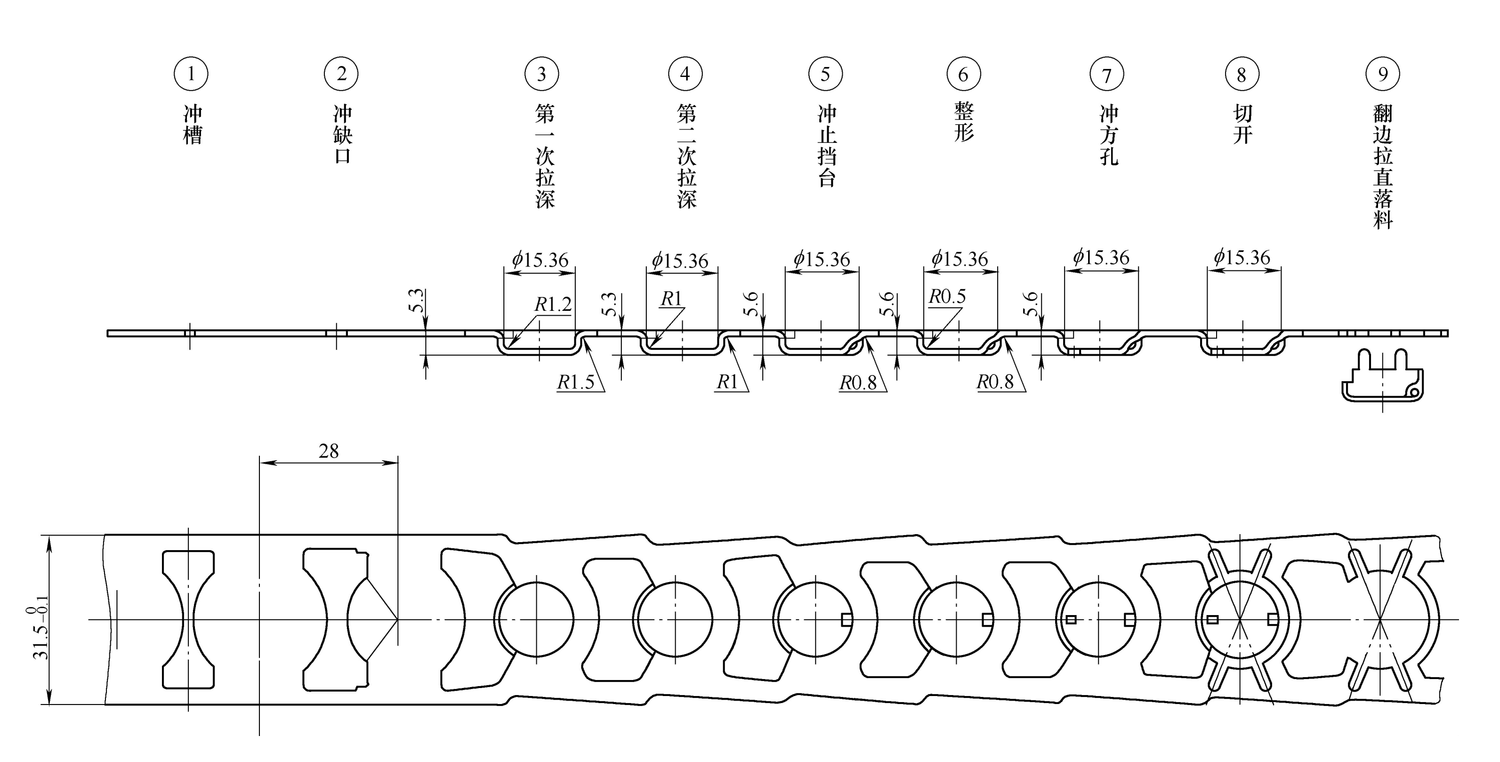


图 1-292　电位器外壳排样图

5）为了保证制件在落料时筒形件外形不被擦伤，工位⑧切开后的制件又不能离开带料，并保证落料后制件高度尺寸达到 $6.1^{+0.12}_{+0.02}$mm，必须采用带凸缘的外形尺寸，经计算为 ϕ18mm，如图 1-295 所示。这样，在切开落料时便不会擦伤筒壁，顶件器设计成内孔为 ϕ16.36mm，深度大于 5.6mm，外径为 ϕ18mm 的筒形，四个凸耳与其连为一个整体。冲压后，在顶出制件时，四个凸耳和凸缘同时被顶出，使制件顶入到卷料中。

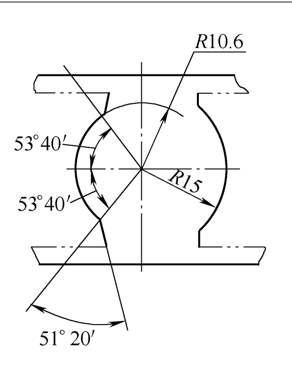


图 1-293　制件展开形状和尺寸

6）如何保证凸耳在翻边拉直时不变形，冲压最后一个工位时凸缘翻边和拉直四个凸耳后落料。凸缘翻边后变为制件筒壁的一部分，保证制件高度 $6.1^{+0.12}_{+0.02}$mm，凸缘翻边时产生的切向挤压力容易将凸耳挤压变形；为此，在凸耳与凸缘的交界处设计有大小为 0.4mm × 0.3mm 的工艺让位缺口。

7）为了保证制件切开后可靠地连在带料上，除靠顶件器将制件顶起复位外，凸耳的头部留一些与带料相连而不切断。具体方法是，在切开凸模四耳处头部设有半径为 R0.3mm 的凹弧（图 1-295），而凹模上没有相应凸台，利用凸模与凹模在此处有 R0.3mm 的间隙，此处材料不被切断，即能保证切开后的制件仍能可靠地留在带料上。

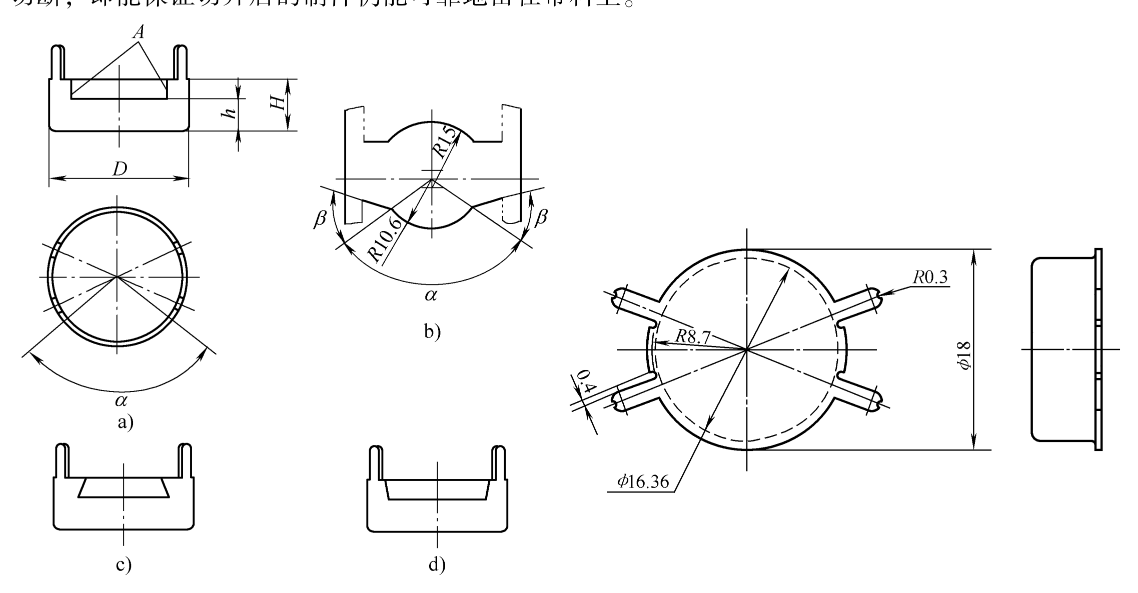


图 1-294　毛坯形状对制件缺口的影响

图 1-295　落料时外形图

（3）模具结构设计　模具结构如图 1-296 所示，在 150 ~ 400 次/min 冲压条件下工作。本模具有如下一些特点：

1）采用四导柱滚动导向钢模架，自动送料粗定位，精确定位利用冲孔工位的卸料导向套 13 和翻边拉直工位的翻边拉直凸模 15 兼作导正销。为起导向作用，卸料导向套 13 和翻边拉直凸模 15 都伸出卸料板 8 一定长度，使带料在被压紧之前已对带料各工位进行精确导向定位。卸料导向套 13 同时还对冲长方孔凸模 12 起保护和卸料作用，卸料导向套 13 与卸料板 8 为 H7/h6 配合，靠两个弹簧和压板进行弹压卸料，如图 1-297 所示。

2）为保证卸料板 8 运动平稳、不倾斜以及和凹模位置的一致性，卸料板采用整体式结构，并在模具内凸模固定板、卸料板和凹模之间设有 4 个直径为 ϕ18mm 的小导柱，小导柱装在凸模

图 1-296　电位器外壳连续拉深级进模

1—浮动导料销　2—小导套　3—小导柱　4—弹簧　5—压板　6—冲缺口凹模镶件　7—导料板　8—卸料板　9—固定板　10—冲缺口凸模　11—凸模固定板　12—冲长方孔凸模　13—卸料导向套　14—切开凸模　15—翻边拉直凸模　16—导线　17—绝缘衬套　18—绝缘垫圈　19—安全导正销　20—顶件器　21—冲孔凹模　22—顶柱　23—定位圈　24—挡料销　25—顶件柱

固定板上，卸料板和凹模上都设置小导套，导柱和导套为 H7/h6 配合。

3）随着拉深深度的逐渐加大，压边力也逐渐增大，为防止带料在越压越紧的状态下拉深，在卸料板下面开一条深为 0.5mm、宽为 34mm 的凹槽，使带料置于槽中，保证拉深过程中材料流动顺利，如图 1-297 所示。

4）带料的送进开始靠导料板 7 导向送进，随后靠分布在带料两侧的 7 对浮动导料销 1 导料送进。冲压结束后，带料在浮动导料销 1 和顶件柱 25 的作用下将筒形件从凹模中顶起，离开凹模平面，继续向前送进。

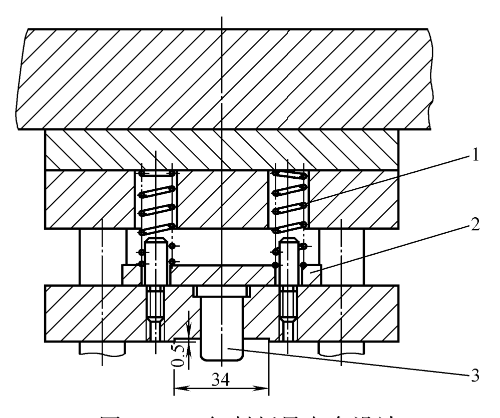


图 1-297　卸料板导向套设计

1—弹簧　2—压板　3—卸料导向套

浮动导料销还起到从卸料导向套 13 上卸下带料的作用。

5）考虑到冲缺口工位的形状与尺寸的不稳定性，也为了便于试模修正更换，将冲缺口凸模 10 先固定在凸模固定板 11 内，再固定到固定板 9 上。冲缺口凹模镶件 6 也采用镶件结构，便于修正更换。

6）为了控制带料拉深后的宽度收缩，保证带料的导向可靠性和落料时制件的完整性，在工位③拉深和前面冲槽工序的槽中增加两个挡料销（图 1-296 中零件 24），插入冲槽的槽中，如图 1-298 所示。图中细双点画线为挡料销插入后的位置，利用挡料销上的台阶阻止材料的过渡流动，不致使首次拉深后带料变得太窄，可把材料宽度控制在要求的范围内。

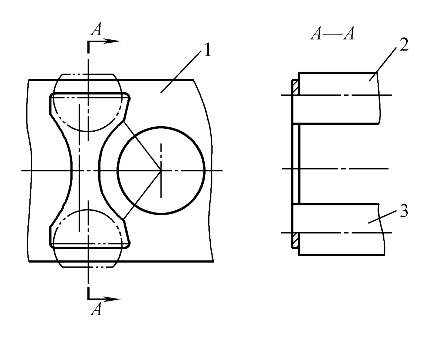


图 1-298　挡料销位置

1—带料　2、3—挡料销

7）为保证冲长方孔凸模 12 损坏后能快速更换，冲长方孔凸模 12 与凸模固定板 9 间留有 0.01mm 的间隙，其导向靠卸料导向套 13 保证，确保凸凹模有合理的冲裁间隙。在上模座中用螺塞和顶柱固定冲长方孔凸模，且凸模有一定的调整量，在刃磨刀口后，通过调节螺塞来控制其相对长度。

8）冲孔凹模 21 与定位圈 23 的相对高度根据制件高度通过螺塞调整。冲孔凹模 21 上设计成两个 2mm × 1.2mm 的长方孔，当一个孔的刃口磨损后，转过 180°用另一个孔冲裁，延长了凹模寿命。

9）所有拉深凸模采用螺钉并通过垫板拉紧固定，当冲裁凸模有磨损时，为了保持拉深凸模的工作端面与其他凸模长度之差不变，比较方便地拆下拉深凸模，对其固定端端面进行修磨。

10）工位⑤为冲止挡台，位置正好处在拉深件变薄最严重的凸模圆角处，此处极易冲裂。为此，在工位③、④拉深凸模冲止挡台的相应位置圆角处，开一条宽 3mm、斜度为 45°的斜槽（图 1-299），使其在此处的拉深变薄程度减小，提高了制件圆角部分的强度。拉深凸模的固定处要考虑设计有防转功能的元件。

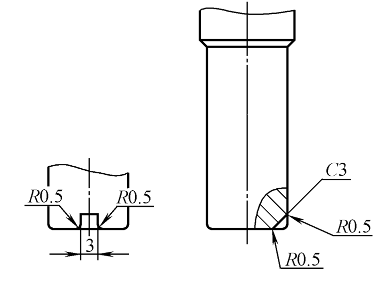


图 1-299　拉深凸模圆角部分开有斜槽

11）工位⑧切开凸模的高度由微调机构调整，由于制件被切开后不能脱离带料，必须做到切开又不能切得太深，因而必须准确地控制切开凸模的冲压深度，切开凸模设计成可调结构，如图 1-300 所示。调整螺钉 2 推动斜面滑块 3，改变切开凸模 4 的伸出长度，切开凸模 4 与凸模固定板 5 的间隙不大于 0.02mm，用圆柱销 8 将切开凸模 4 挂在凸模固定板 5 上，凸模靠卸料板 6 导向，保证和凹模之间的间隙均匀。

12）本模具设有自动检测安全保护装置，控制带料的送进精度并实现安全冲压，其原理是采用安全导正销 19（图 1-296）装在卸料板 8 上，通过绝缘衬套 17 和绝缘垫圈 18 与卸料板 8 绝缘，安全导正销 19 接导线 16，导线与机床控制电路相连（下模座接地）工作时，若带料送进位置正确，安全导正销插入带料孔中（不与带料接触），压力机正常冲压。反之，若带料误送，安全导正销与带料接触，电路导通形成回路，切断机床控制电路，使压力机立即停机，有效保护压力机和模具。

2. 端盖连续拉深级进模

图 1-301 所示为端盖零件图，其材料为 SECC-SV，塑性稍差于 08F 钢，但与 10 钢相似，料

厚为0.6mm，在微型电动机壳体、盖板、端盖等的连续拉深级进模中使用，完全适用于在不采用中间退火等热处理工序时实现连续拉深的冲压生产。

经分析，该零件采用带切口的连续拉深，其排样图如图1-302所示。共有8个工位，分别为：①冲切缺口；②第一次拉深；③第二次拉深；④整形；⑤冲五孔；⑥中心孔翻边；⑦标记压印；⑧外形冲切、载体分离。

该模具设计结构与图1-296基本相同，如图1-303所示。在工位⑤冲五孔时，单独采用了兼具保护凸模作用的冲孔导向套43。工位⑥中，在翻边凹模10内设置了顶件杆11，以防止翻边后粘附在翻边凹模内。在上、下模座的对应处安装了限位套19，保证对模方便。

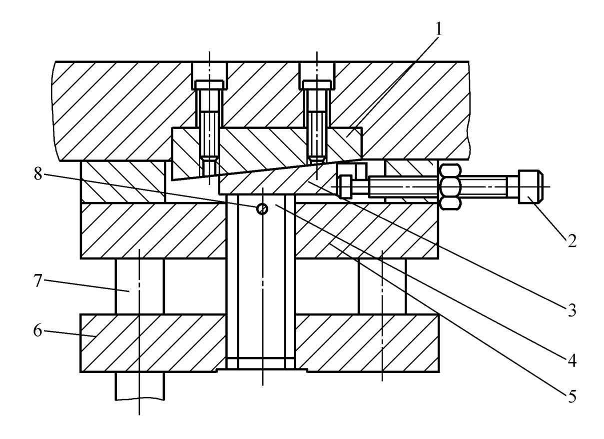


图1-300 凸模高度微调机构

1—斜垫板 2—调整螺钉 3—滑块 4—切开凸模 5—凸模固定板 6—卸料板 7—小导柱 8—圆柱销

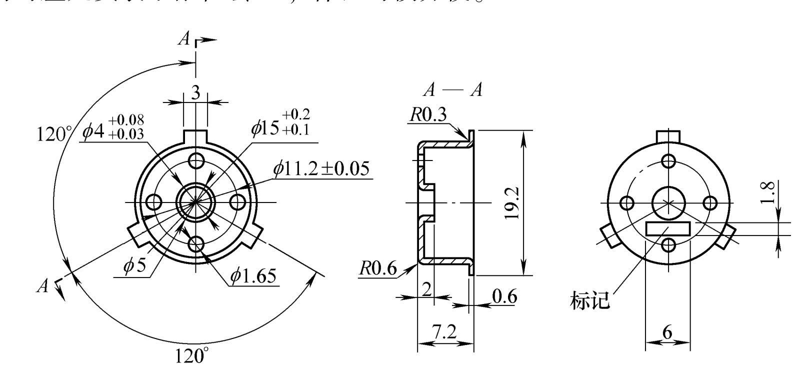
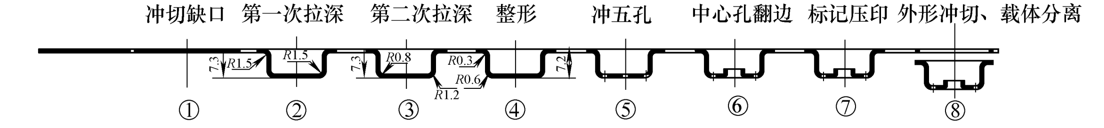


图1-301 端盖零件图



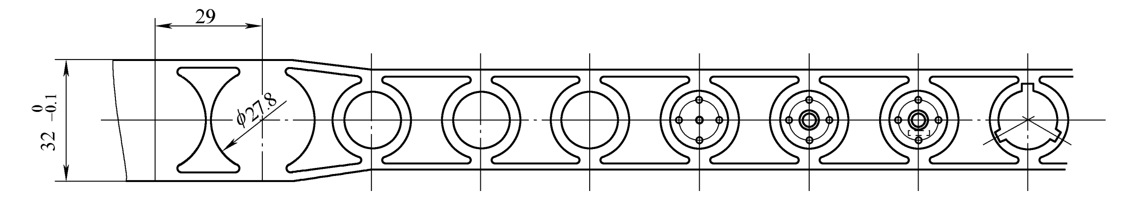
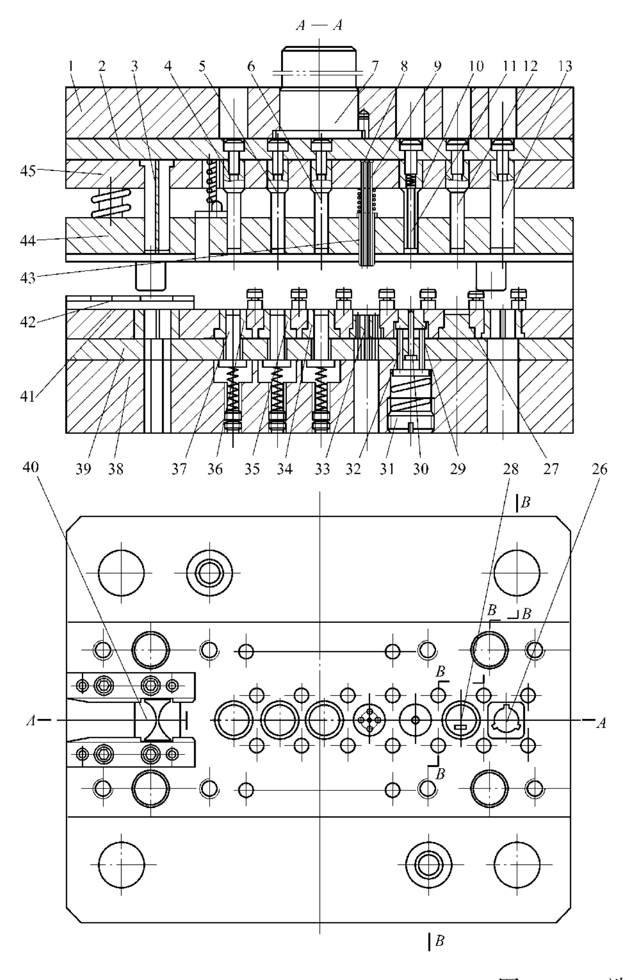


图1-302 端盖排样图

3. 电动机外壳连续拉深级进模

（1）制件与排样 电动机外壳如图1-304所示，材料为SECC，料厚为0.6mm，制件精度要求很高，尤其是$\phi2.95^{+0.015}_{0}$mm孔的精度要求很高，需多次拉深与挤压成形才能保证，内孔尺寸$\phi22.8^{+0.08}_{+0.03}$mm的精度要求也很高，拉深后需多次整形才能保证。



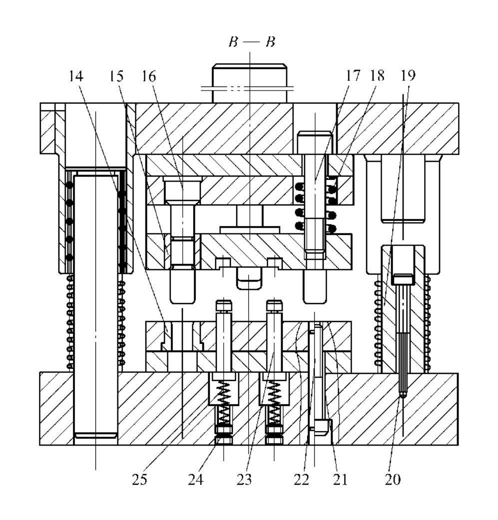


图 1-303　端盖连续拉深级进模

1—上模座　2—上垫板　3—冲缺口凸模　4、5—拉深凸模　6—整形凸模　7—模柄　8、9—冲孔凸模　10—翻边凹模　11、37—顶件杆　12—压印凸模　13—落料凸模　14、15—导套　16—导柱　17、20、21—螺钉　18、25—弹簧　19—限位套　22—销　23—浮动导料销　24、31—螺塞　26—落料凹模镶件　27—镶块　28—压印镶件　29—翻边顶块　30—翻边凸模　32—顶杆　33—冲孔凹模镶套　34—整形凹模　35、36—拉深凹模　38—下模座　39—下垫板　40—冲缺口凹模镶件　41—凹模固定板　42—导料板　43—冲孔导向套　44—卸料板　45—凸模固定板

设计排样时，为防止在拉深过程中带料变形过大，待切工艺缺口后再拉深，并在带料两侧冲两个 ϕ3mm 孔作为导正销孔定位。排样图如图 1-305a 所示，共设置 25 个工位，各工位拉深工序和工艺尺寸如图 1-305b 所示。

在 25 个工位中，为了保证内孔 $\phi2.95^{+0.015}_{0}$mm 的成形精度，共用了 12 个工位，从拉深凸包到拉深成圆筒共用 10 个工位，再冲孔，然后挤压孔成形。外形拉深共用了 3 个工位，一次拉深，一次拉深整形，再整形。

（2）模具结构设计特点　图 1-306 所示为电动机外壳连续拉深级进模，从排样图知，模具的尺寸较大，为使模板加工制造方便，凹模、卸料板、固定板采用两块拼合而成，组装时由用销钉和螺钉固定在模架的上、下模座上。模具中很多地方都采用镶块式结构，便于维修更换。

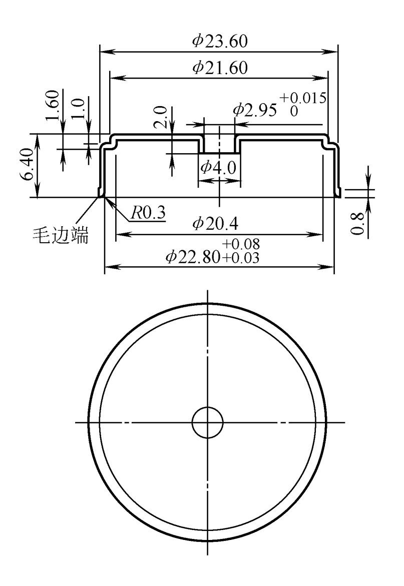


图 1-304　电动机外壳

根据制件的需要，从工位③到工位⑫为打凸包，打凸包凸模设计在下模，打凸包凹模设计在上模，并在凹模内设有小顶杆，起着顶出制件的作用。从工位⑨到工位 12，由于制件已成筒形，且尺寸较小，为防止筒形件抱紧在凸模上，同时为保护凸模，增加了顶件套 66、68、70、72。工位⑮冲凸包孔，由冲孔凸模 64 与冲孔凹模 123 完成。工位⑯外形拉深如图 1-305b 所示的步骤 k，由拉深凸模 31 和拉深凹模镶块 60 完成，拉深时由定位销 61 定位后向下拉深。工位⑱为拉深整形，由拉深整形凸模 33 和拉深整形凹模镶块 58 完成。工位⑳为整形，由整形凸模 37 和整形凹模镶块 55 完成。上述凹模中均设有强力弹顶装置。工位㉒挤压内孔，由挤压凸模 125、定位凸凹模 41、挤压凹模镶块 52 及顶件套 53 共同完成，如图 1-307 所示。工位㉔切断，由导头 126 导正，落料凸模 42 和落料凹模 50 镶块完成，然后由压力机上的切断装置将废料切断。

4. 管帽连续拉深级进模

图 1-308 所示为管帽连续拉深级进模，材料为 H62，整带料连续拉深，料宽为 24mm，步距为 20.5mm。排样共设 9 个工位，工位①采用独立的弹压卸料板结构，目的是将带料压紧进行拉深；其余采用固定卸料板卸料，但每个凹模内均有顶杆，自由状态下顶杆高出凹模平面起到压料和顶件的双重作用。

工位②是空工位，为了保证送料精度，采用定位凸模 11 定位，它是活动的。工位⑥、⑦的拉深凸模 7、9 设计有一个可上下活动的护套 6、8，在拉深开始前起压料定位作用，拉深终了时起成形作用，当上模回升时起卸料作用。护套的弹压力要适当，不能太大，以免损坏已拉深好的半成品。

工位⑧为制件底部成形冲孔翻边并兼有对整个形状的整形作用。由于孔口允许有毛刺存在，因此将冲孔设计成穿孔，对提高凸模强度有好处；同时由于成形冲孔在同一工位内完成，有利于保证制件的同轴度，也避免了分别冲孔时找正定位困难。成形冲孔翻边过程如图 1-309 所示，它们之间的高度差是当冲孔凸模穿透 ϕ0.8mm 小孔之后，成形凸模和成形凹模刚好“打死”。其动作过程是先成形好底部，然后上模继续下行开始冲孔翻边。

为便于刃磨刀口，也为了解决由于各工步拉深的高度不同，进入凹模的时间不同而引起的弯曲变形，可将落料凹模设计成高出其他凹模一定值，取 $H \leqslant 3$mm，如图 1-308 所示。

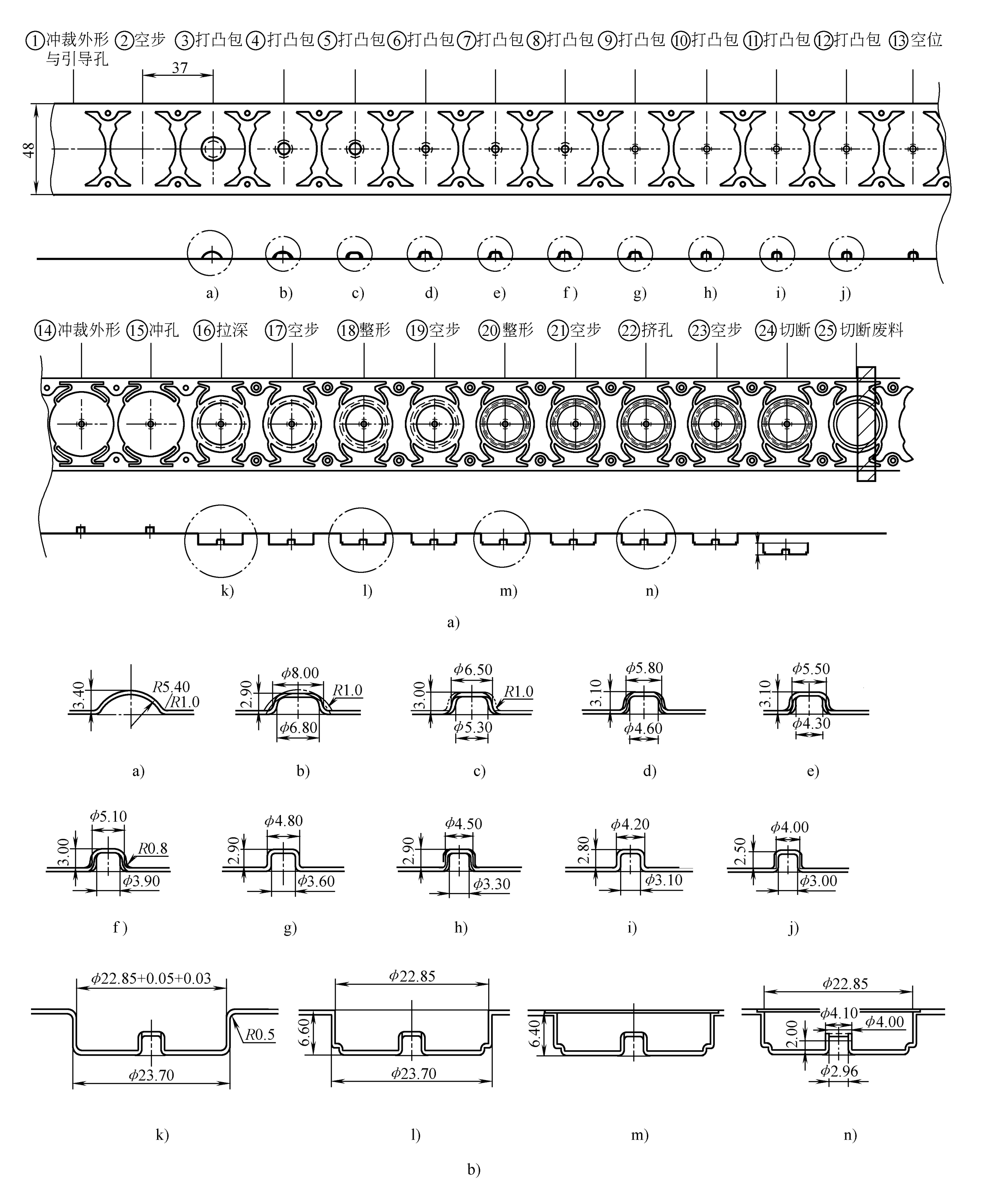


图 1-305　电动机外壳排样图

a）排样图　b）成形工艺放大图

5. 焊片连续拉深级进模

图 1-310 为焊片零件图，材料为 H62，料厚为 0.4mm。经分析，采用直对排带工艺缺口的连续拉深，拉深工序简图如图 1-311 所示，在拉深工序结束后，一般还需整形以提高制件的尺寸精度和减小凸凹模接触处的圆角，以达到制件要求。排样图如图 1-312 所示，共需 16 个工位，分

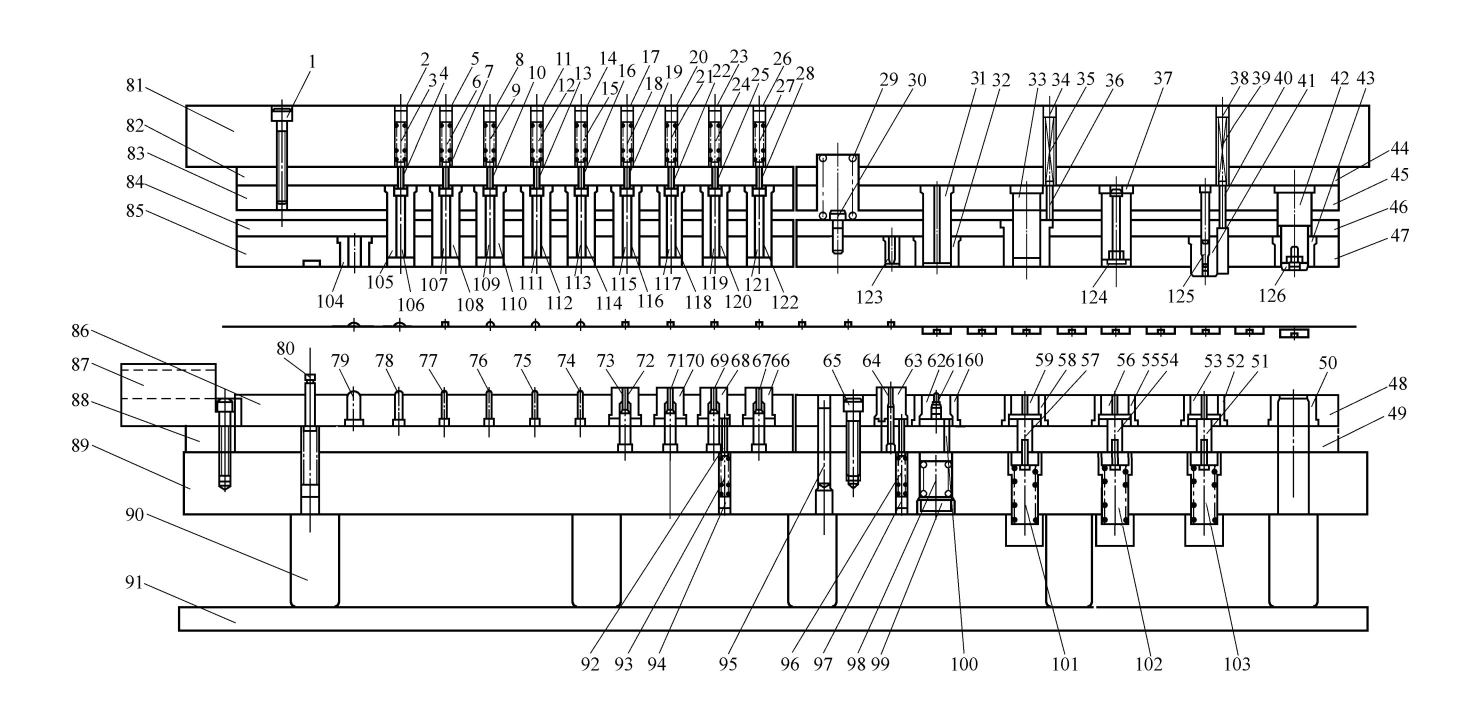


图 1-306　电动机外壳连续拉深级进模

1、30、65—螺钉　2、5、8、11、14、17、20、23、26、34、38、94、97、99—螺塞　3、6、9、12、15、18、21、24、27、29、35、39、93、96、98、101、102、103—弹簧　4、7、10、13、16、19、22、25、28、36、40、51、54、57、92、100—顶销　31—拉深凸模　32、43—凸模套　33—拉深整形凸模　37—整形凸模　41—定位凸凹模　42—落料凸模　44—上垫板Ⅰ　45—固定板Ⅰ　46—卸料板垫板Ⅰ　47—卸料板Ⅰ　48—下模板Ⅰ　49—下垫板Ⅰ　50—落料凹模镶块　52—挤压凹模镶块　53、56、59、62、63、66、68、70、72—顶件套　55—整形凹模镶块　58—拉深整形凹模镶块　60—拉深凹模镶块　61—定位销　64—冲孔凸模　67、69、71、73、74、75、76、77、78、79—打凸包凸模　80—浮动导料销　81—上模座　82—上垫板Ⅱ　83—固定板Ⅱ　84—卸料板垫板Ⅱ　85—卸料板Ⅱ　86—下模板Ⅱ　87—导料板　88—下垫板Ⅱ　89—下模座　90—垫板　91—底板　95—销　104—打凸包凹模镶块　105、108、110、112、114、116、118、120、122—打凸包凹模　106、107、109、111、113、115、117、119、121—顶料杆　123—冲孔凹模　124—整形凸模导头　125—挤压凸模　126—导头

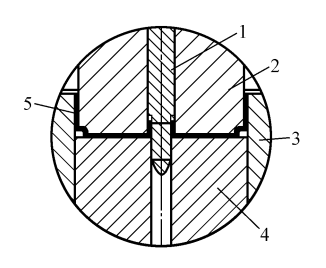


图 1-307　挤压工序图
1—挤压凸模　2—定位凸凹模
3—挤压凹模镶块　4—顶件套
5—电动机外壳

别为：①双侧刃定距冲切，②为空工位，③冲工艺缺口，④第一次拉深，⑤～⑩逐次拉深，⑪整形，⑫冲拉深底孔，⑬冲长方孔，⑭制件外形落料。

由于模具主要由冲裁和拉深两部分组成，为便于模具的加工、调整与刃磨，按模具的工序内容和冲压顺序把凹模部分分解成三个独立的冲压单元，第一单元由双侧刃定距冲切和冲工艺缺口组成，第二单元由全部拉深和整形工序组成，第三单元由冲孔和制件外形落料组成。凹模分三段拼合后，各自用螺钉和销钉定位并紧固在下模上，但拼合后必须保证步距 9.5mm 尺寸的一致性。冲底孔的凹模镶件 39 的高度与大凹模的高度尺寸差较大，因此以镶件结构形式嵌入第三单元的凹模内。

图 1-313 所示为焊片连续拉深级进模，采用自动送料机构送料。凸模和固定板采用 0.01～0.015mm 的间隙配合，和卸料板的配合间隙不大于 0.01mm，因此凸模的导向精度是靠卸料板的导向来保证的。模具除靠模架导柱、导套导向外，还设置了导柱 18 固定在卸料板上，和导套 17 固定在固定板上，以保证良好的导向精度和连续平稳冲压。

卸料板因冲压工序要求的不同，不能加工成整体式结构，应分解成内、外两个部分。内卸料板 20 以不大于 0.01mm 间隙的配合形式设置在外卸料板 19 内，内卸料板只起拉深后的卸料作用，但对各工序的拉深不起压料作用；外卸料板的作用是对冲裁凸模进行导向和卸料。

第一次拉深因所需压边力较大，压边圈 7 必须单独设立。因凹模部分已分解为三个独立的冲压单元，分段凹模 41、42、43 与之相对应的凸模固定板也应分成三个单元。为缩短拉深凸模的工作长度，确保拉深凸模的刚度和强度，可在凸模固定板 23 下面增加拉深小凸模固定板 24。

为便于在连续拉深中对带料进行导正，将工位⑥和工位⑨的拉深凸模设计成可上、下活动的结构形式。

带料开始送进时，靠导料板 45 导向送进，在拉深工作区，靠带料两侧各设置的三个活动导料销导向送进。为了减少下模弹顶力，增加拉深凸模的负荷，在上模设置推杆 25 推动活动导料销 29 将弹簧 33 压缩后再拉深。

6. 挡盖连续拉深级进模

图 1-314 所示为挡盖连续拉深级进模，材料为 Q235A 料厚为 2mm，采用有工艺切口一模两件的连续拉深方法。排样共设置 6 个工位，分别为：①侧刃定距冲切、冲工艺切口，②拉深，③为空工位,④冲孔，⑤制件与载体切割分离，⑥切断废料。

因模具面积较大，所以模板采用 6 个模块加工拼合而成，用螺钉、销钉紧固定位在上、下模座上，但模块拼合后必须保证步距 120mm 的尺寸一致。为使模具安装与加工方便，上、下模之间的导向件选用独立导向组件 21。因为制件材料较厚，有足够的强度，所以材料的送进导向设计为：开始端采用导料板 4 导向送进，接着采用浮动导料销 22 导向送进。工位间的定距采用侧刃定距，冲切为粗定位，导正销 14 为精定距。又因模具的冲压加工为冲切、拉深、冲孔、分离、切断等多工序的组合，冲裁力、拉深力、压料力大小不一，所以适合分别设计弹压装置，特别是拉深的压料力对制件的成形影响较大，所以选用了可调形式的卸料螺柱 16。工位④处的冲孔凸模较多，凹模部位易磨损，故该部位冲孔凹模设计成直通镶块的快换结构，由顶销 15 从凹模固定板侧面拧入，方便凹模的更换与拆装。

7. 长圆筒形件连续拉深级进模

图 1-315a 所示为长圆筒形拉深件的制件图，材料为 SPCE，厚度为 0.3mm 的深拉深用冷轧薄

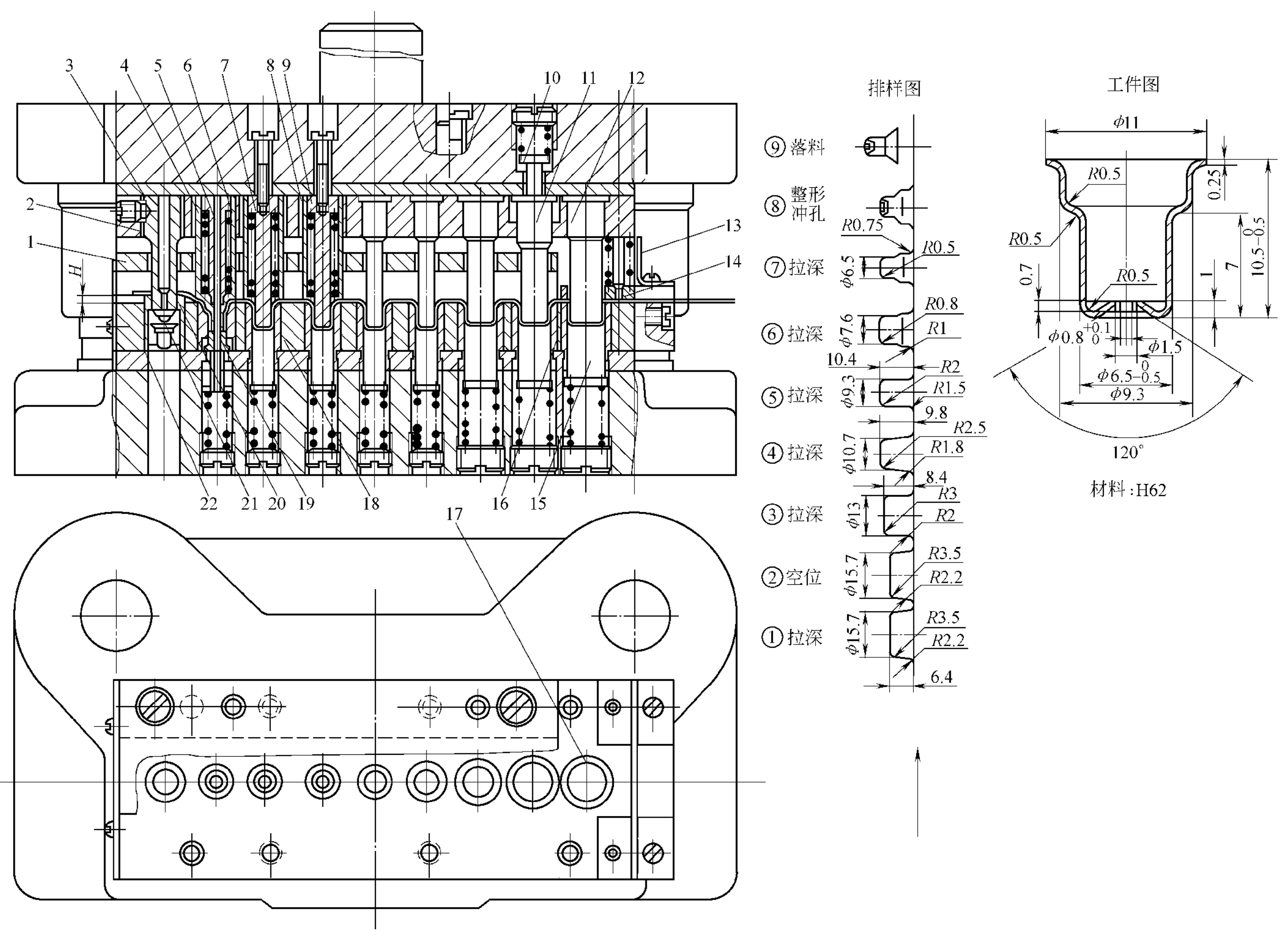


图 1-308　管帽连续拉深级进模

1—固定卸料板　2—镶套　3—落料凸模　4—整形凸模　5—冲孔凸模　6、8—护套　7、9、12—拉深凸模　10—顶杆　11—定位凸模　13—安全板　14—弹压卸料板　15—顶杆　16—定位套　17—拉深凹模　18—固定板　19—冲孔凹模　20—落料凹模　21—导头　22—垫圈

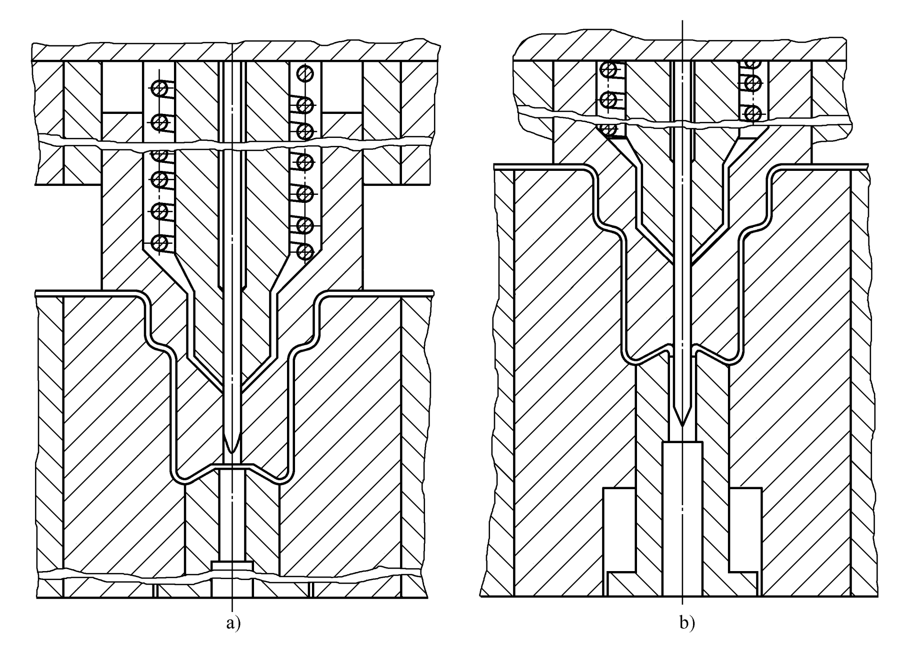


图 1-309　工位⑧的整形冲孔翻边过程

a）成形结束　b）冲孔翻边结束

钢带。图 1-315b 所示为一模三件有工艺切口连续拉深排样图，共分冲导正销孔、切工艺切口、4 次拉深、5 个空位共 11 道工序，第四次拉深挤边和落料为复合工序。图 1-316 为长圆筒形件连续拉深级进模。

模具主要特点如下：

1）为了防止第一次拉深起皱，第一次拉深必须有足够的压料力，又由于模具长度较长，所以模板采用三个模块加工拼合而成，即由冲导正销孔和切工艺口模块 52、第一次拉深模块 43 和以后各次拉深、挤边落料模块 31 组成的下模凹模固定板。相应的上模由零件 4、13、24 组成的上模凸模固定板，卸料（压料）部分由零件 5、20、30 组成的卸料板。

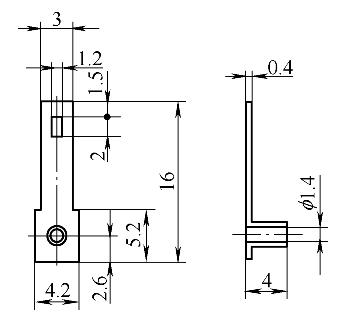


图 1-310　焊片零件图

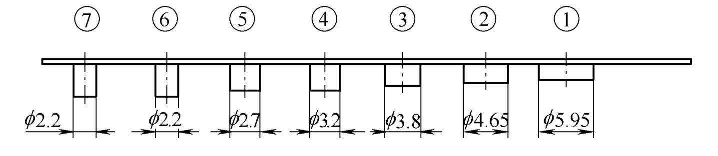


图 1-311　拉深工序简图

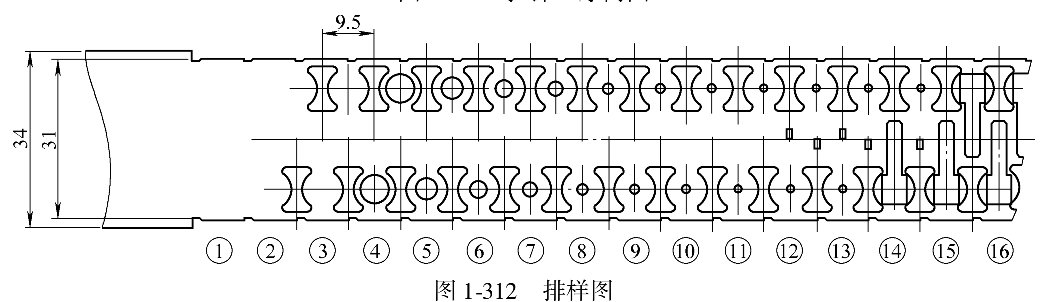


图 1-312　排样图

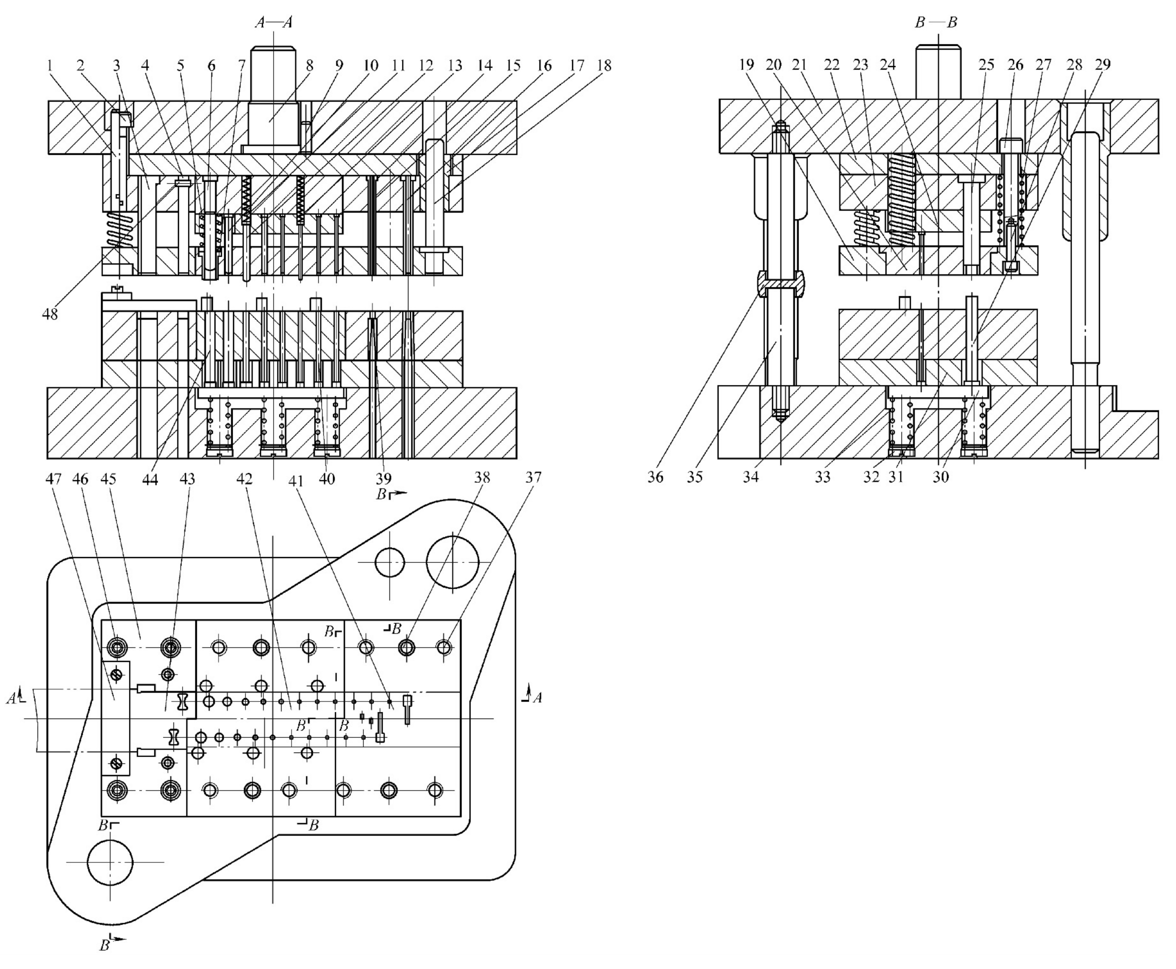


图 1-313　连续拉深级进模

1、9、38—销　2、28、37、46—螺钉　3—侧刃　4—冲切口凸模　5、11、13、27、33—弹簧　6—第一次拉深凸模　7—第一次拉深压边圈　8—模柄　10—逐次拉深凸模　12—活动拉深凸模　14—冲长方孔凸模　15—长方孔凸模保护套　16—落料凸模　17—导套　18—导柱　19—外卸料板　20—内卸料板　21—上模座　22—上垫板　23—凸模固定板　24—拉深小凸模固定板　25—推杆　26—卸料螺柱　29—导料销　30—弹顶块　31—下垫板　32—螺塞　34—下模座　35—限位柱　36—对模深度样块　39—冲底孔凹模镶件　40—弹顶杆　41、42、43—分段凹模　44—弹顶杆　45—导料板　47—挡料板　48—销

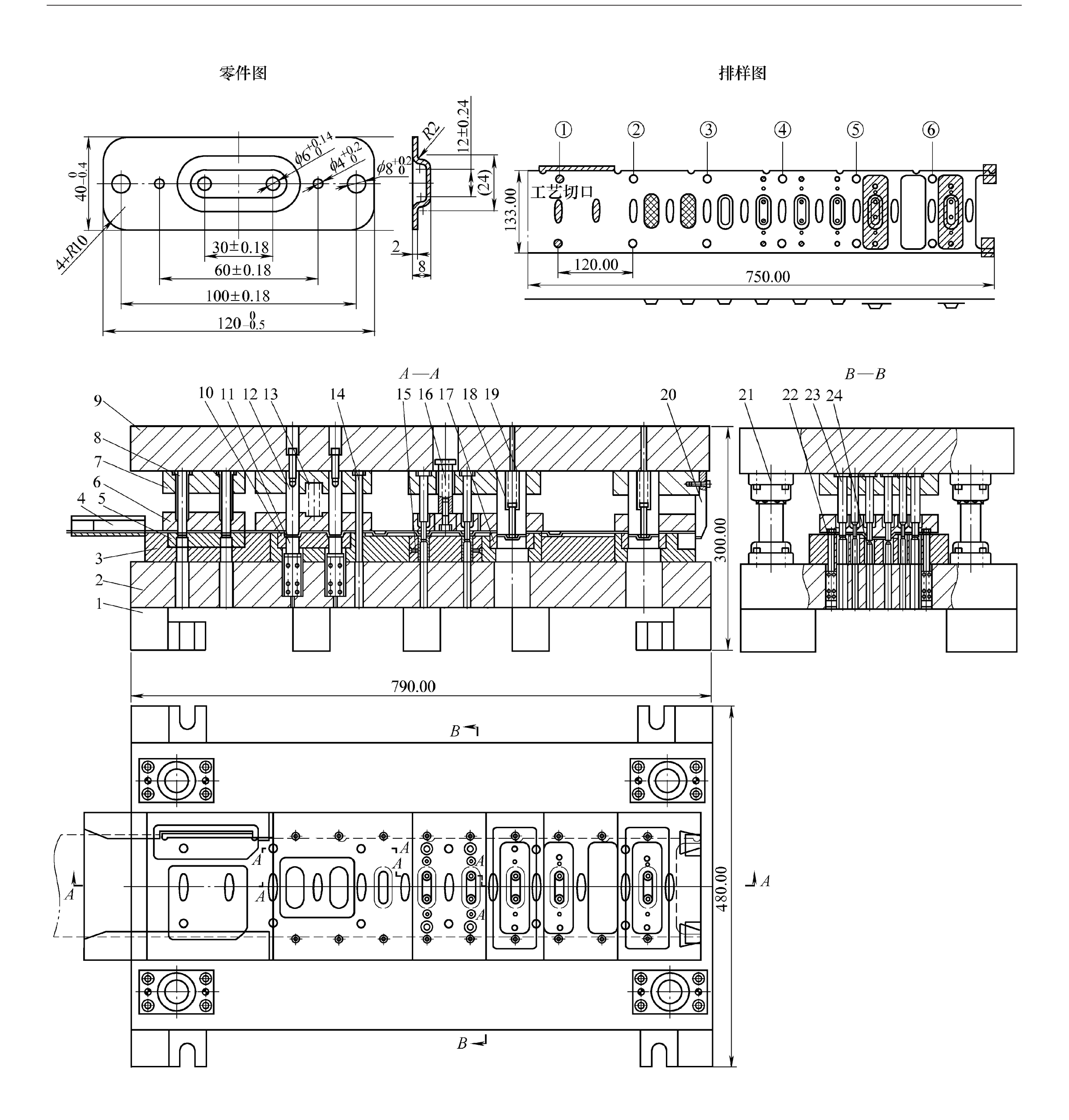


图 1-314　挡盖连续拉深级进模

1—模脚　2—下模座　3—凹模固定板　4—导料板　5—切口凹模镶块　6—卸料板　7—凸模固定板　8—切口凸模　9—上模座　10—拉深凹模镶块　11—顶件块　12—拉深凸模　13—弹簧　14—导正销　15—顶销　16—卸料螺柱　17—落料凹模　18—推件销　19—落料凸模　20—切断凸模　21—独立导向组件　22—浮动导料销　23—冲孔凸模　24—冲孔凹模

2）切口、拉深、挤边和落料凹模都采用镶件式结构，不但便于加工制造，也便于更换维修。

3）由自动送料装置送料初定位，导正销导正精定位，以后各次拉深由拉深凹模作为送料时的粗定位。

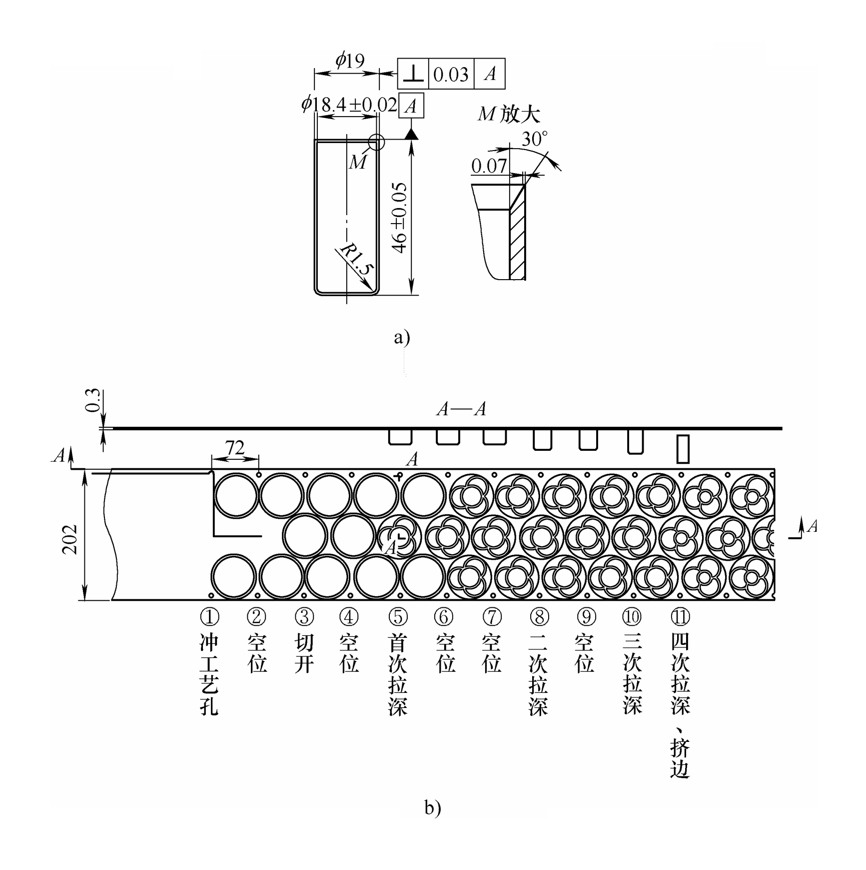


图 1-315 长圆筒形件

a）制件图 b）有工艺切口连续拉深排样图

4）模具由四导柱滚动导向组件导向，每个模块又由四导柱滑动导向组件导向，导向可靠。

5）内外切口采用复合工序，既减小了模具的长度，又保证了切口的质量。

6）工序⑪采用拉深、挤边和落料复合工序，其特点是随着压力机滑块的下行拉深、挤边落料凸模 27 对长圆筒形件进行最后一次拉深。当拉深达到圆筒形件高度后，拉深、挤边落料凸模的台阶与凹模共同对拉深件进行挤边，凸模继续下行，当双面间隙小于 0. 005mm 时，通过凹模把长圆筒形件切断。切断后的口部平整，质量较好，省去了专用修边模或切边工序。

8. 阶梯圆筒形件连续拉深级进模

图 1-317a 所示为阶梯圆筒形拉深件的制件图，材料为 SPCE，厚度为 0. 2mm 的深拉深用冷轧钢带。图 1-317b 所示为一模一件有工艺切口连续拉深排样图，共有 16 个工位，分别为：①冲导正销孔，②切外切口，③为空位，④切内切口，⑤为空位，⑥第一次拉深，⑦为空位，⑧第二次拉深，⑨为空位，⑩及⑪分别为第三次和第四次拉深，⑫和⑬整形，⑭为空位，⑮冲底孔，⑯落料。图 1-318 所示为阶梯圆筒形拉深件连续拉深级进模。

模具结构主要特点如下：

1）为了防止第一次拉深起皱，第一次拉深必须有足够的压料力，又由于模具长度较长，所以模板采用四个模块加工拼合而成，即由冲导正销孔和切工艺切口模块 68、第一次拉深模块 76、以后各次拉深模块 54 和冲孔、落料模块 36 组成下模凹模固定板。相应的上模对应的凸模固定板和卸料板。

2）冲导正销孔、切口、拉深、冲孔和落料都采用镶件式结构，不但便于加工制造，也便于

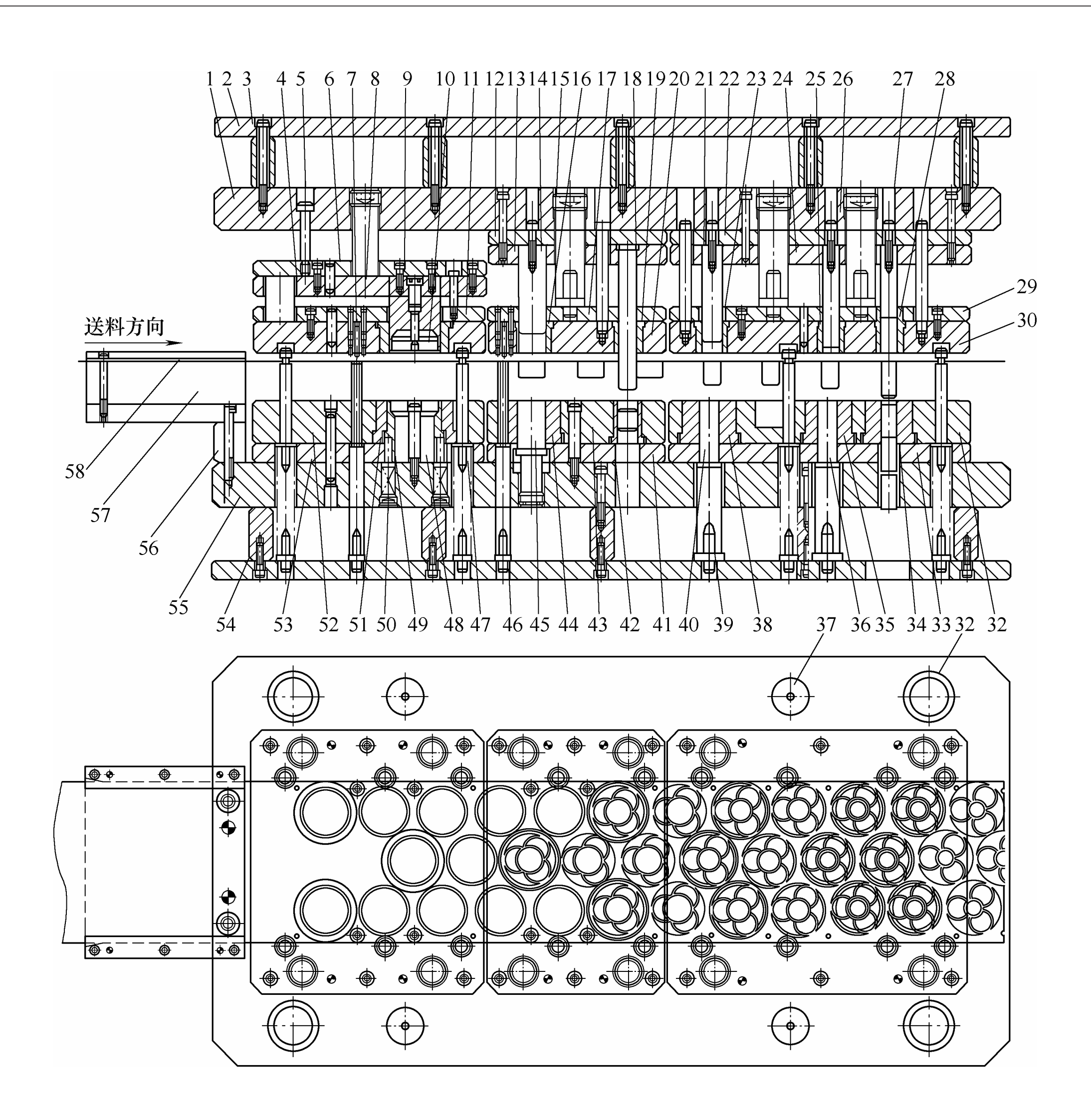


图 1-316　长圆筒形件连续拉深级进模

1—上模座　2—上托板　3—衬套　4、13、24—凸模固定板　5、20、30—卸料板　6、12、22—上垫板　7—导正销　8、36、40、45、50—顶杆　9—凸凹模　10—推件块　11、17、29—卸料板垫板　14、21、26—拉深凸模　15—弹压卸料组件　16、23、25、28—卸料板镶件　18—导柱　19、27—拉深、挤边落料凸模　31、43、52—凹模固定板　32—四导柱滚动导向组件　33、41、53—下垫板　34—拉深、挤边凹模　35、38、44—拉深凹模　37—限位柱　39—弹簧芯柱　42—导套　46—下托板　47—导料销　48—下凸模　49—顶料圈　51—凹模镶件　54—垫板　55—下模座　56—垫块　57—导料板　58—带料

更换维修。

3）自动送料装置送料初定位，导正销导正精定位，并采用拉料方式能使各工位之间传递更稳定可靠。

4）为提高拉深凹模的耐磨性，延长模具使用寿命，各工位拉深凹模采用 YG8 硬质合金制造。

5）模具由四导柱滚动导向组件导向，每个模块分别有四导柱和二导柱滑动导向组件导向，导向稳定可靠。

6）由于拉深件各部位的半径、直径及高度要求较高，工位⑫、⑬设计了整形结构，整形凸模 21 设有微调装置，使调整和维修更方便。

7）工位⑮冲底孔，凸凹模设计有良好的保护装置，当模具在正常冲压时，凸模固定块始终顶在滑块上面。反之，模具异常时，滑块在气缸 40 的作用下自动退出，凸模 25 在弹簧的拉力作用下向上退，这样一来，凸模刃口始终碰不到凹模或错位的带料，有效地保证了凸凹模的使用寿命。

8）模具的前部和尾部各装有误送检测装置，当带料送不到位或模具异常时，误送导正销向上移动，通过关联销接触到微动开关，当压力机接收到微动开关发出的信号时，即自动停止冲压。

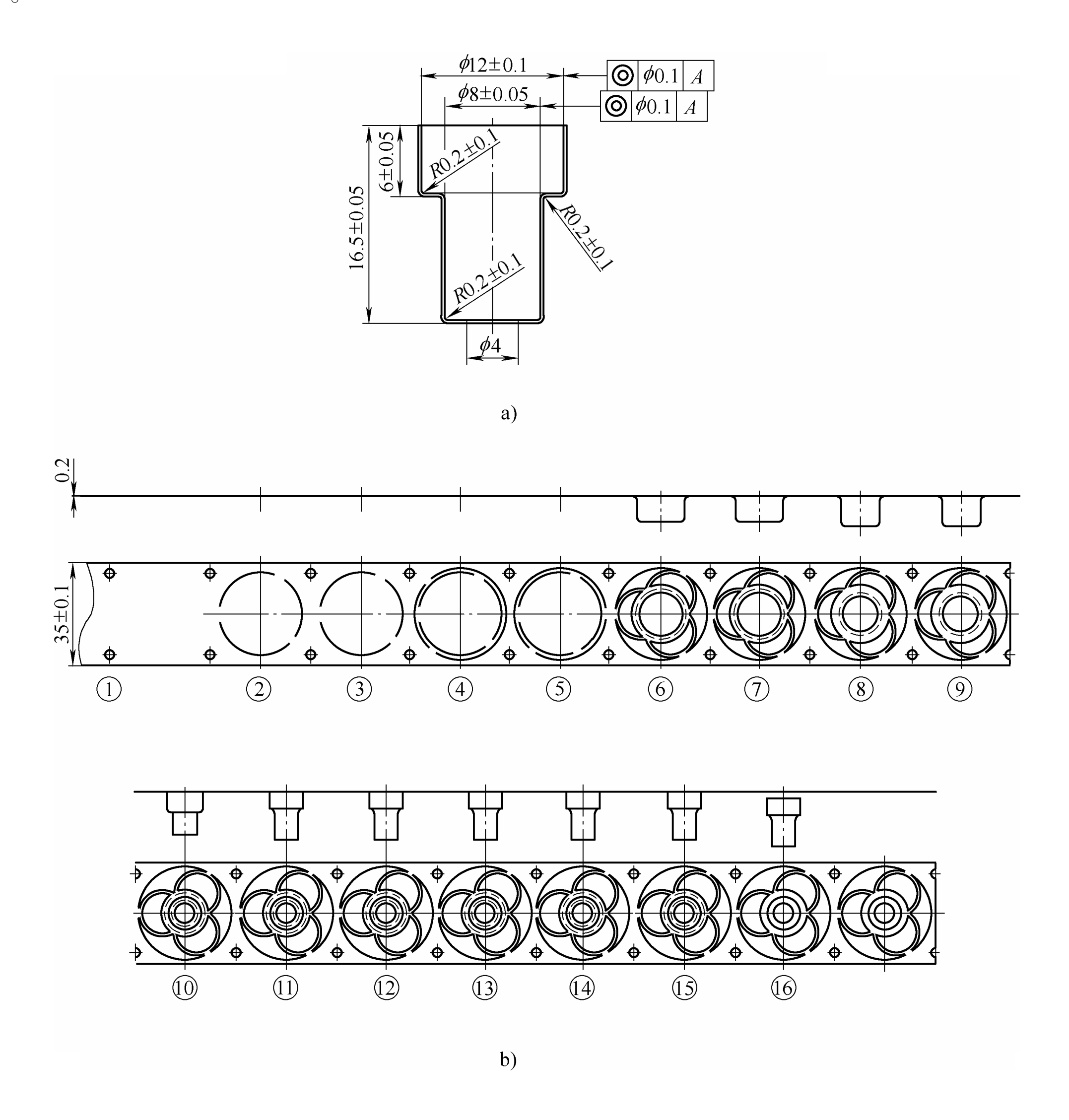


图 1-317 阶梯圆筒形拉深件

a）制件图 b）有工艺切口连续拉深排样图

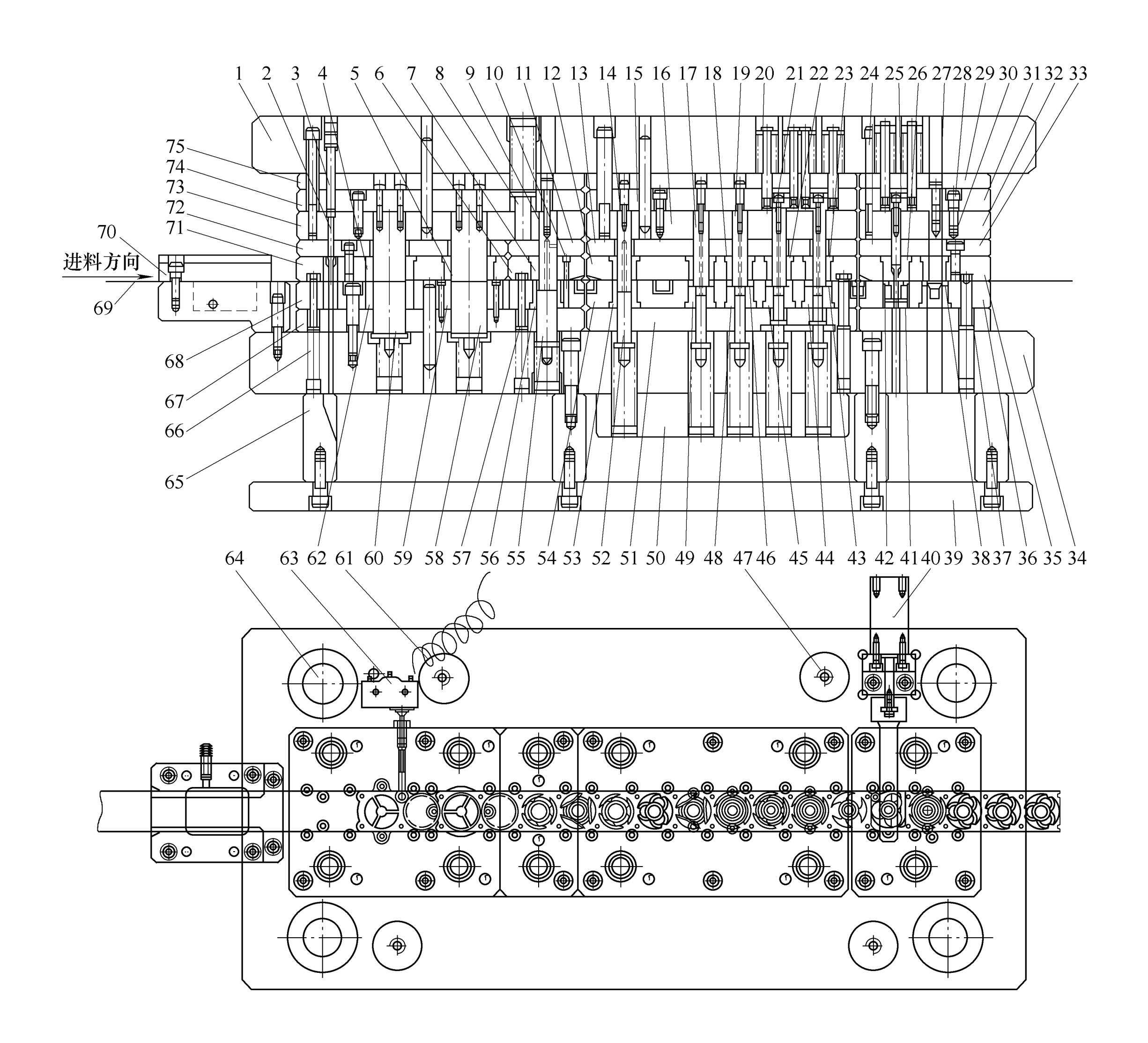


图 1-318　阶梯形筒形件连续拉深级进模

1—上模座　2—冲导正销孔凸模　3—凸模顶杆　4、18、22、23、26、30—卸料板镶件　5—切口凸模
6、12、35、71—卸料板　7—压边圈　8—弹压装置　9、14、17、19—拉深凸模　10—导正销
11、13、33、72—卸料板垫板　15、31—滑块固定板　16、32、73—凸模固定板　20、66—弹簧
21—整形凸模　24、28—螺钉　25—冲底孔凸模　27—落料凸模　29、74—凸模固定板垫板
34—下模座　36、54、68、76—凹模固定板　37、51、67—下模垫板　38、41、42、43、
46、59、62—凹模镶件　39—下托板　40—气缸　44、45—整形凹模　47—限位柱
48、49、53、56—拉深凹模　50—弹簧支板　52、55、58、60—顶杆　57—导料销
61—微动开关连接线　63—微动开关　64—四导柱滚动导向组件　65—垫块
69—带料　70—导料板　75—垫板

第四节　冷挤压模设计

在室温下，使金属坯料在凸模压力作用下通过凹模产生塑性变形，使金属材料产生体积转移而挤压成形的冲模叫冷挤压模。

一、非铁金属冷挤压模

1. 非铁金属正挤压模设计

图 1-319 是用于挤压带凸缘铝管的纯铝正挤压通用模，只要更换凹模 27 和凸模 24，就可挤压出不同尺寸的带凸缘管状零件。凹模通过紧固定位套 8 固定在固定板 3 中，凹模下面有淬硬的厚垫板 5，固定板用螺钉和销紧固在下模座 1 上。凸模通过弹簧夹头 15、紧固定位套 12 固定在凸模固定板 23 中，固定板用螺钉和销紧固在上模座 20 上。模柄 13 的作用是保证模具的轴线和压力机滑块的轴线重合，不起固定上模作用。上模用螺栓和压板固定在压力机滑块上，下模用螺栓和压板固定在压力机工作台上。模具采用导柱 9、25 和导套 2、26 导向，为保证导柱和导套的导向精度，增加了导柱长度，因而采用导柱装在上模座中，导套装在下模座中，这样就避免了上

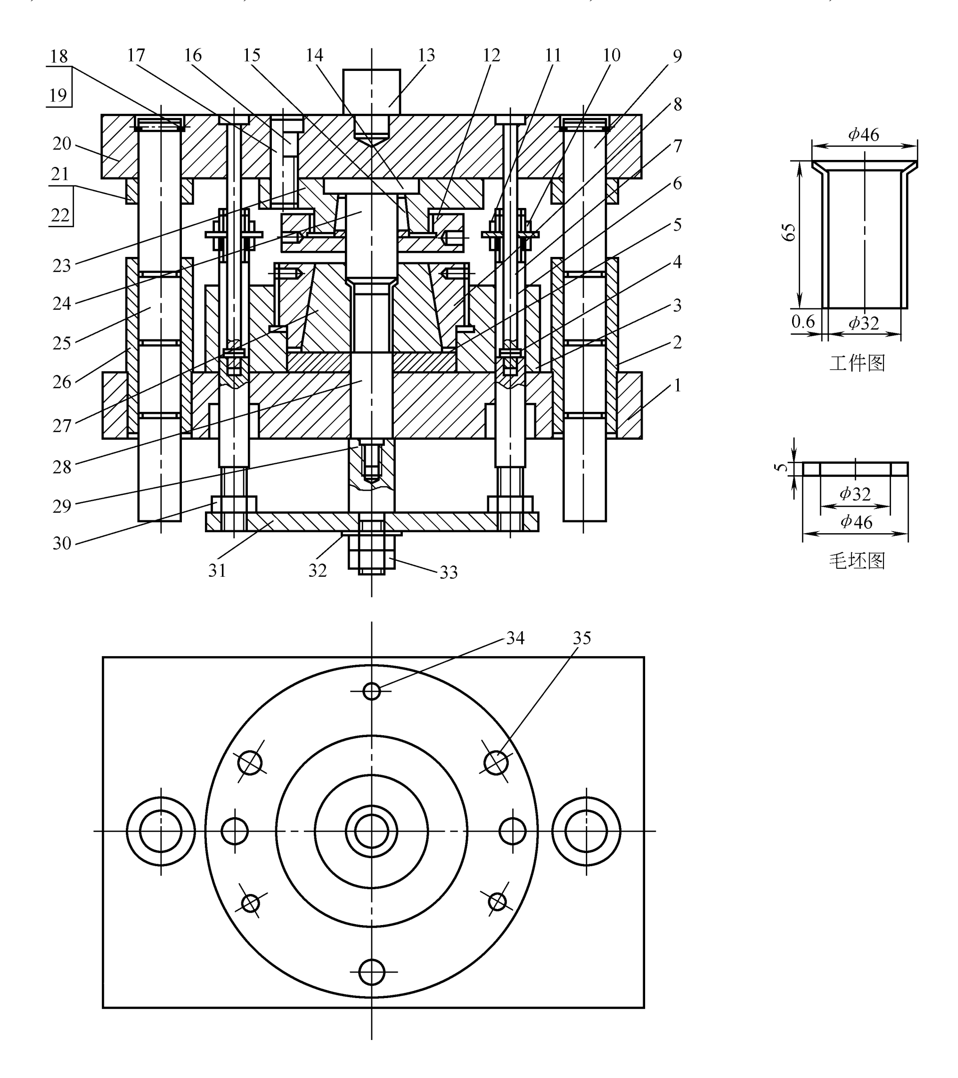


图 1-319　纯铝正挤压通用模

1—下模座　2、26—导套　3、23—固定板　4、17、34—销　5、14—垫板　6—下拉杆　7—上拉杆　8—紧固定位套　9、25—导柱　10、30、33—螺母　11—调整垫　12—紧固定位套　13—模柄　15—弹簧夹头　16、35—螺钉　18、19—胀圈　20—上模座　21、22—加强套　24—凸模　27—凹模　28—顶件杆　29—顶杆　31—顶板　32—垫圈

模回程时导柱离开导套，而影响导向精度和可能发生的上、下模中心偏移事故。

因为制件挤压后留在凹模内，所以采用拉杆式顶出机构，它由固定在顶板 31 上的顶杆 29、顶件杆 28 通过下拉杆 6、上拉杆 7 把制件从凹模中顶出。

2. 铝质电容器外壳专用挤压模

图 1-320 是铝质电容器外壳专用挤压模，把毛坯放入凹模套 25 的型腔内，当上模下行时，凸模 19 挤压毛坯在组合凹模（由零件 10 ~ 14 组成）内成形。成形后的制件连同凹模 25 一起，通过弹顶装置由顶杆 2 顶出，此后将制件再从凹模中取出。

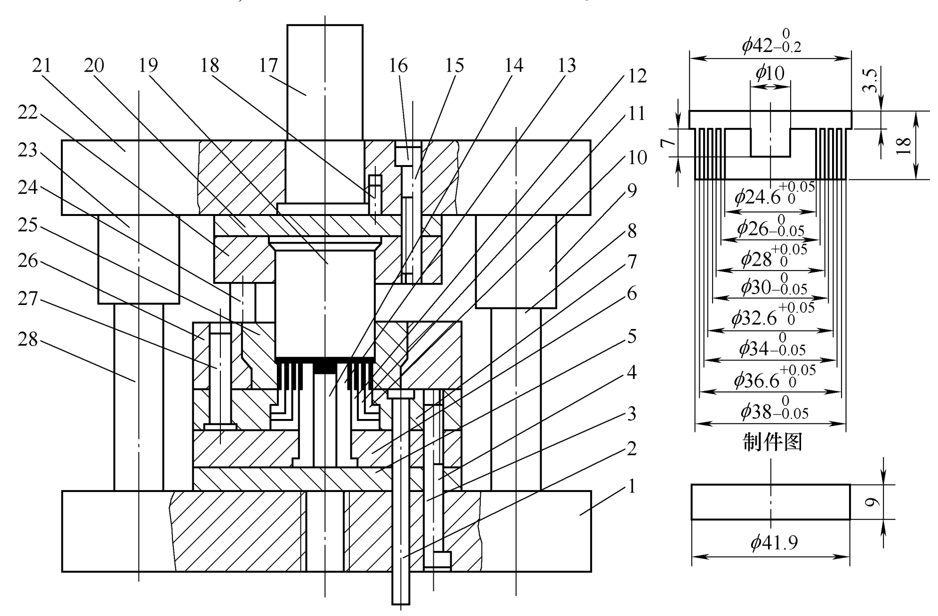


图 1-320　铝质电容器外壳专用挤压模

1—下模座　2—顶杆　3、15、18—销　4、16—螺钉　5、20—垫板　6、7、22—固定板
8、28—导柱　9、23—导套　10、11、12、13、14、25—凹模　17—模柄　19—凸模
21—上模座　24—压杆　26—凹模套　27—小导柱

为了挤出多层环状部分，凹模采用套圈组合，如图 1-321 所示。但必须保证有高的装配精度，还要注意凹模口部圆角 $R0.3$mm 均匀一致，套圈带台端面开设 $R2$mm 的出气孔道。模具采用一级精度模架，凹模固定板采用 3 个小导柱 27 导向。

3. 纯铝反挤压通用模

图 1-322 所示为纯铝薄壁筒形件反挤压通用模，只要更换凸模 25 和凹模 9，就可挤出不同尺寸的薄壁筒形件。凸模和凹模的固定方法同纯铝正挤压通用模，由于薄壁形反挤压后一般都不会卡在凹模内，因而不需考虑顶出机构，而需要考虑把制件从凸模上卸下的卸料机构。

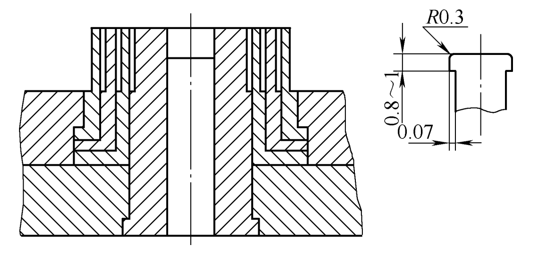


图 1-321　套圈组合凹模

卸料机构由按 120°分成三件的活动卸料器 26 套以拉簧 27 装在卸料支架 15 上，卸料支架由螺栓 13、弹簧 30 弹性地固定在固定板 7 上。这样可减小凸模长度，提高凸模刚性。

为了保证导向精度，导柱和导套的配合间隙小于 0.01mm。为保证导柱、导套的安装稳定性增加了加强套 4、11、24、31。

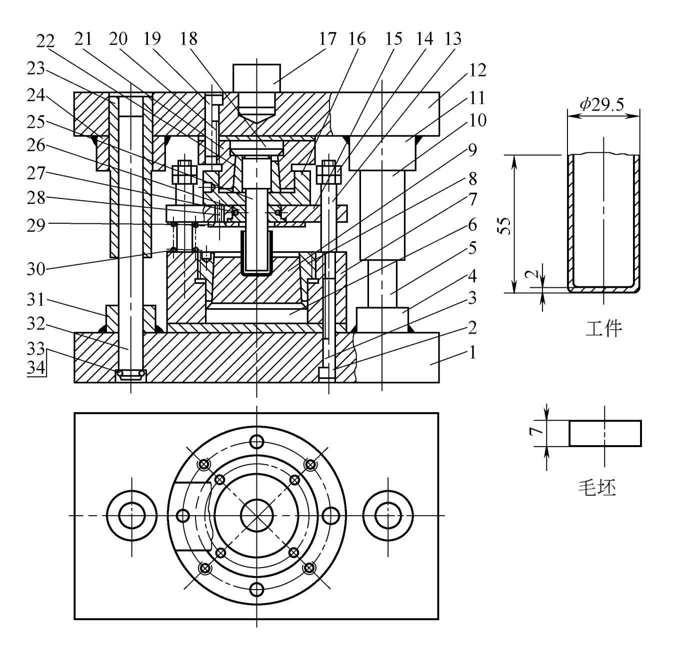


图 1-322　纯铝薄壁筒形件反挤压通用模架

1—下模座　2、19—销　3、20、28—螺钉　4、11、24、31—加强套　5、32—导柱　6、18—垫板　7—固定板　8、16—紧固定位套　9—凹模　10、23—导套　12—上模座　13—螺栓　14—螺母　15—卸料支架　17—模柄　21—凸模固定板　22—弹簧夹头　25—凸模　26—卸料器　27—拉簧　29—盖板　30—弹簧　33、34—胀圈

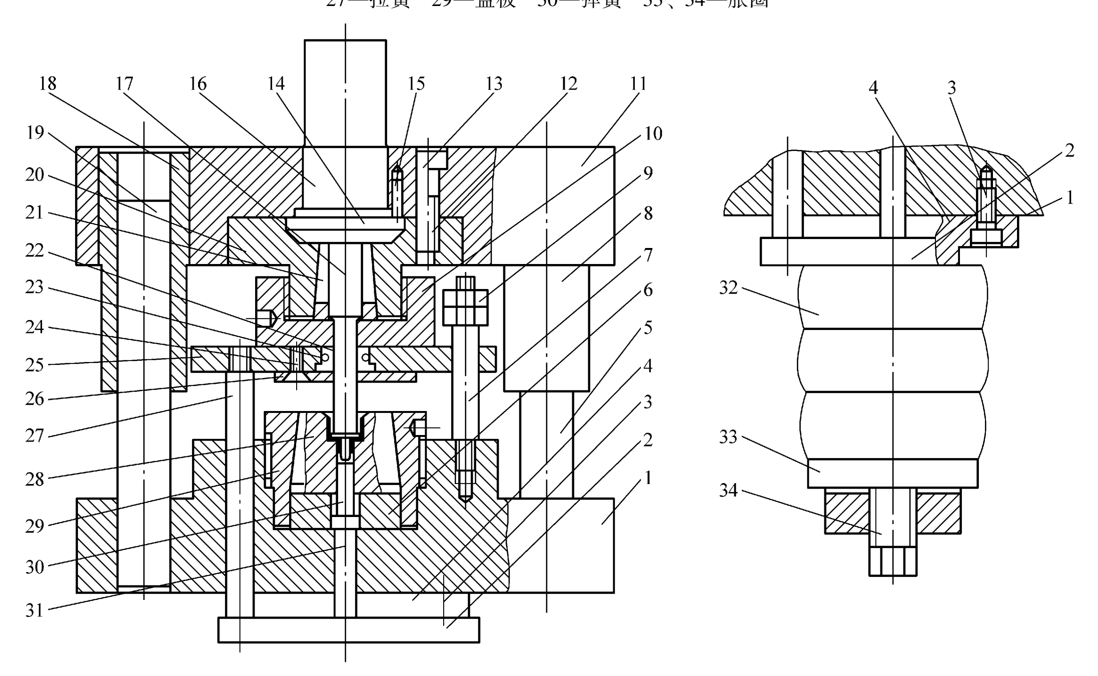


图 1-323　纯铝小型制件复合挤压通用模

1—下模座　2、33—支板　3、12、24—螺钉　4—支座　5、19—导柱　6、14—垫板　7—螺杆　8、18—导套　9—螺母　10、29—紧固定位套　11—上模座　13、15—销　16—模柄　17—凸模　20—固定板　21—夹头　22—卸料圈　23—弹簧　25—支板　26—盖板　27—压杆　28—凹模　30—顶件杆　31—顶杆　32—橡胶　34—螺柱

4. 纯铝小型制件复合挤压通用模

图 1-323 所示为纯铝小型制件复合挤压通用模，只要更换凸模 17 和凹模 28 就可挤压不同尺寸的纯铝小型制件。

模具结构和反挤压模基本相同，所不同的是由于是复合挤压，挤压后制件会卡在凹模内，因此必须设有顶出装置将制件从凹模内顶出，顶出装置由顶件杆 30、顶杆 31、支板 2、支座 4、橡胶 32、支板 33 和螺柱 34 组成。

为保证复合挤压时顺挤能顺利进行，在压力机滑块下行时，由压杆 27 迫使支板 2 下行，因而顶杆 31、顶件杆 30 自动下落，使顺挤能顺利进行；当压力机滑块回程时，橡胶 32 迫使支板 2 上行，顶杆 31 推动顶件杆 30 将制件从凹模内向上顶出，制件若抱紧在凸模上，装在支架 25 上的卸料圈 22 将制件从凸模 17 上卸下。

图 1-324 为该模具挤压的电器外壳，图 1-325 ~ 图 1-345 为该模具的主要零件图。

5. 带方凸缘的圆管正挤压模

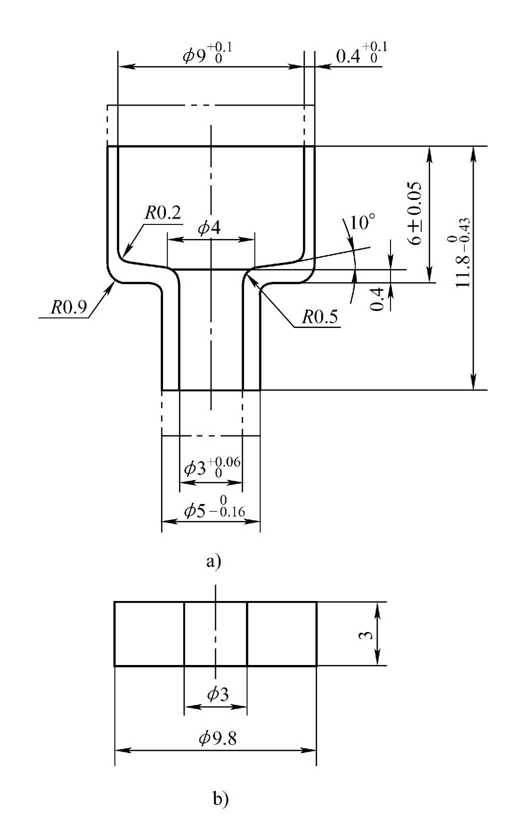


图 1-324　电器外壳

a）零件图　b）毛坯图

图 1-346 所示为带方凸缘的圆管正挤压模，模具结构简单，制造方便，适合中小批量生产。为提高凹模强度，使用寿命和制造方便，凹模采用横向分割型组合。外加预应力圈压紧固定。挤压结束后，上模上行，由拉杆 18 通过顶板 20 带动顶件杆 19 将挤压件从下凹模 6 和上凹模 7 中顶出。

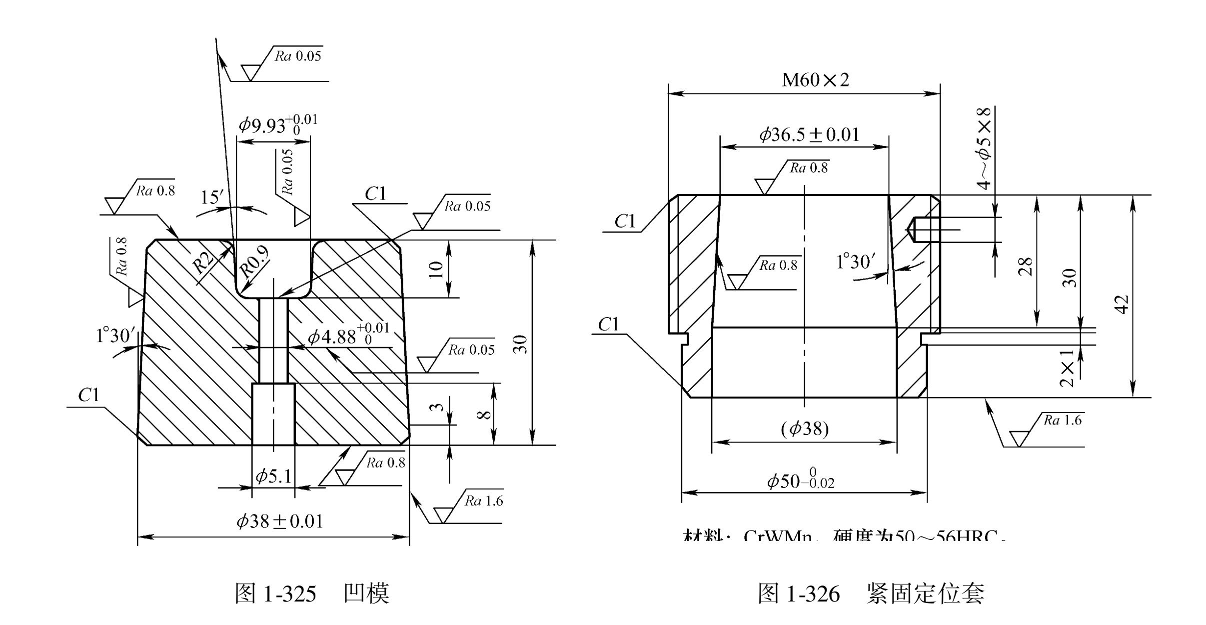
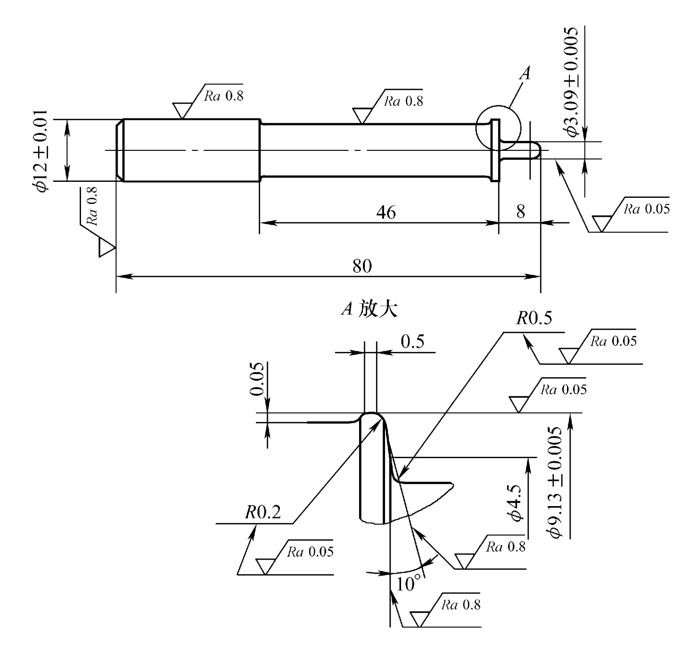


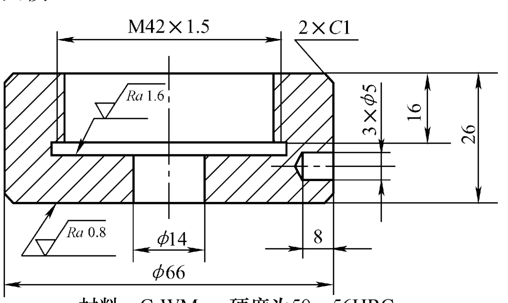
图 1-325　凹模

图 1-326　紧固定位套



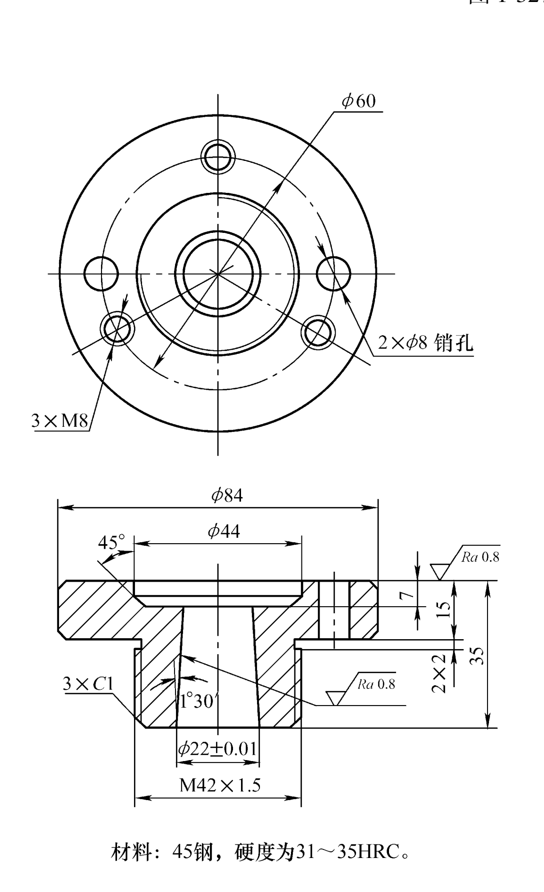
材料：Cr12MoV，硬度为62～64HRC。
表面镀硬铬，图中为镀铬后尺寸。

图 1-327　凸模



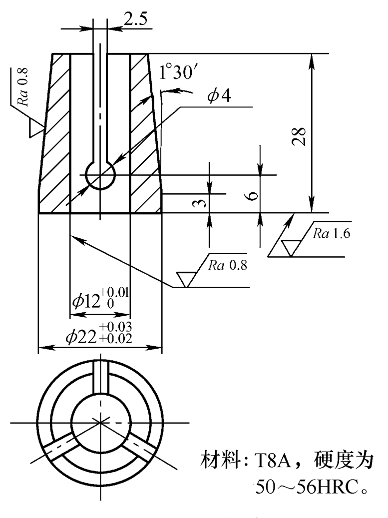
材料：CrWMn，硬度为50～56HRC。

图 1-329　紧固定位套



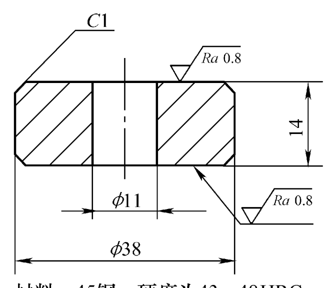
材料：45钢，硬度为31～35HRC。

图 1-328　固定板



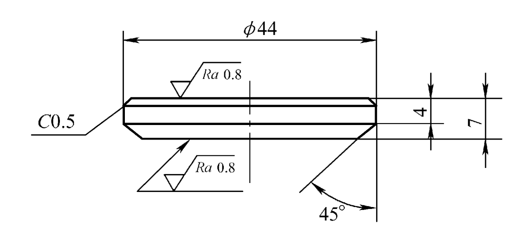
材料：T8A，硬度为
50～56HRC。

图 1-330　夹头



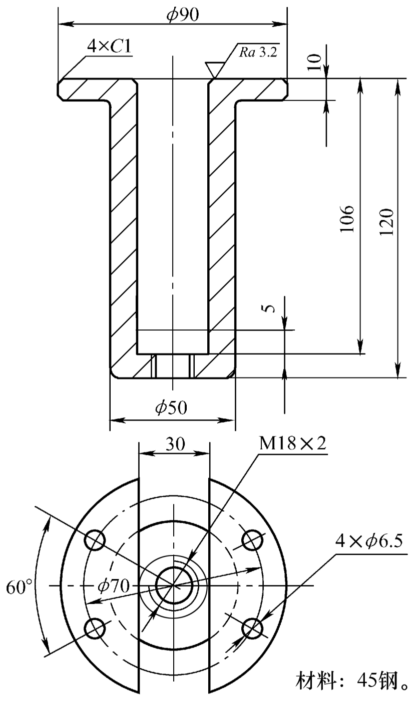
材料：45钢，硬度为43～48HRC。

图 1-331　垫板



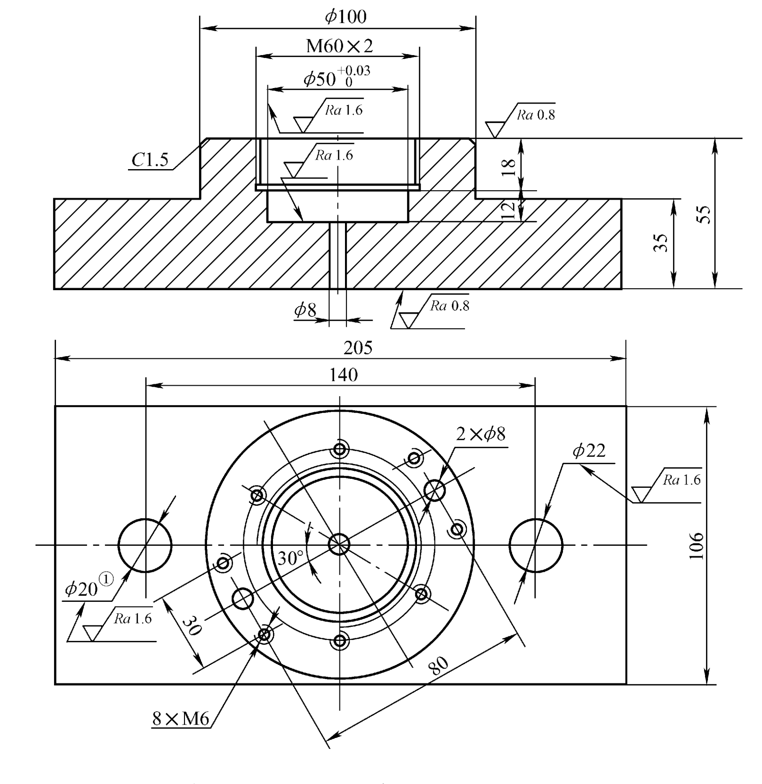
材料：45钢，硬度为43～48HRC。

图 1-332　垫板



材料：45钢。

图 1-333　支座



材料：45钢，调质后硬度为31～35HRC。

①尺寸按导柱配，过盈量为0.02～0.025mm

图 1-334　下模座

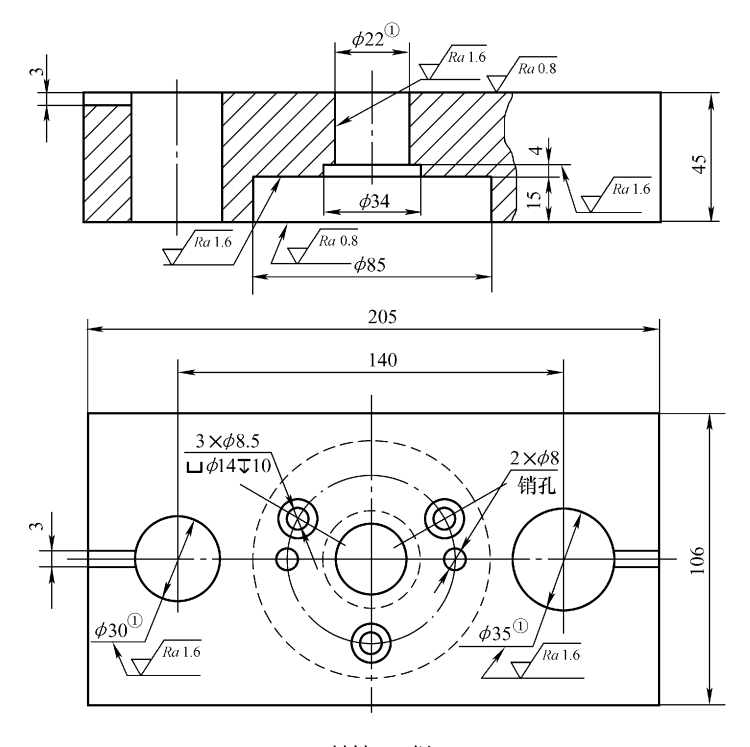


图 1-335　上模座

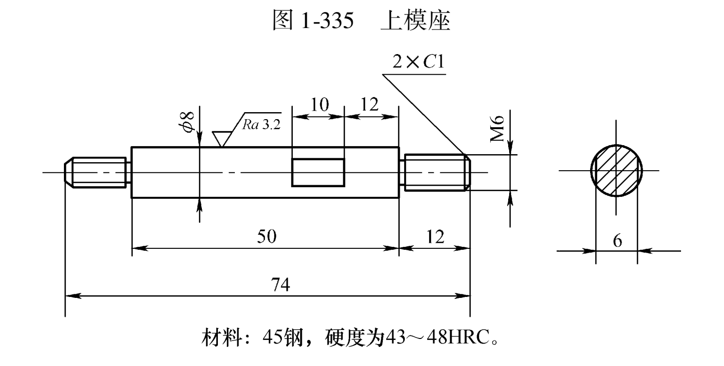


图 1-336　螺杆

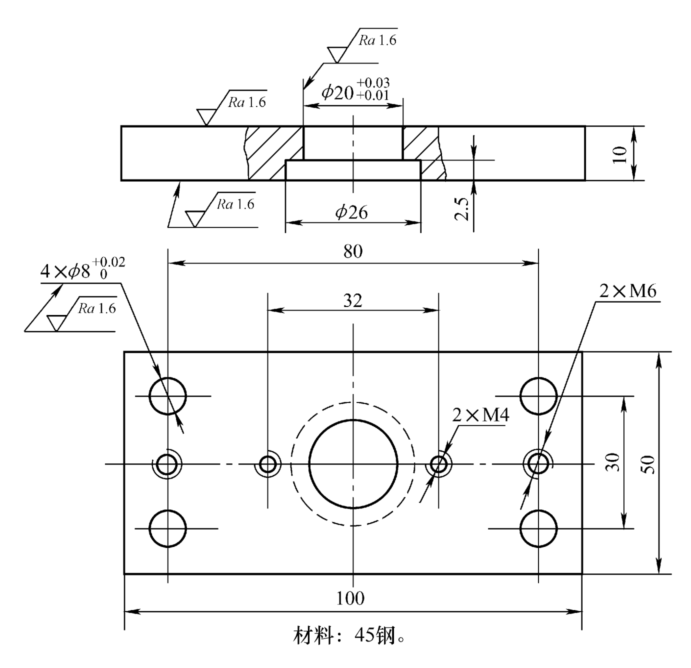
6. 铝环反挤压模

图 1-347 所示为敞开式无导向反挤压模，模具结构简单，制造方便，制件材料为防锈铝合金 3A21，毛坯为圆环垫圈形状，退火后塑性好。冲压时，毛坯套在凹模兼定位柱 15 上定位，当上模下行时，毛坯在凸模 13 和凹模 16 的作用下反挤压成形，此时制件箍紧在凸模 13 上；当上模上行时，制件由打杆 10 和推件块组成的推件装置从凸模上推下。

7. 多层方形罩壳反挤压模

图 1-348 所示为多层方形罩壳反挤压模，制件为一个六格带底孔翻边的纯铝罩壳，形状复杂。

为避免整体式凸模加工困难，崩刃后不便于更换维修，凸模 7 采用六块分体组合镶拼而成，凸模上部制成锥度，既增加承压面积，减小上模的单位压力，又有利于凸模的固定。



材料：45钢。

图 1-337　支承板

材料：T8A，硬度为50～56HRC。

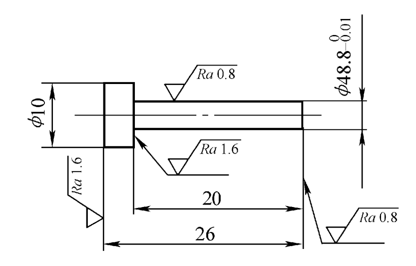
图 1-338　活动卸料圈

材料：45 钢。

图 1-339　盖板

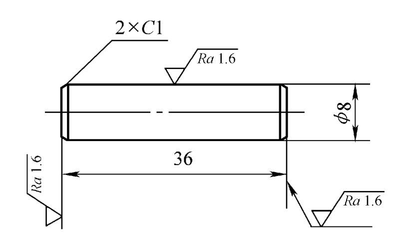
材料：45 钢，硬度为 43～48HRC。

图 1-340　压杆



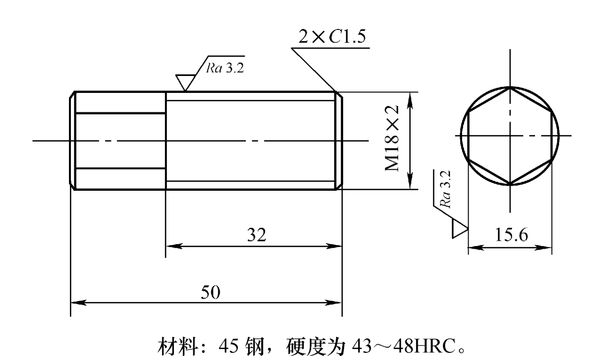
材料：T8A，硬度为 56～60HRC。

图 1-341 顶件杆



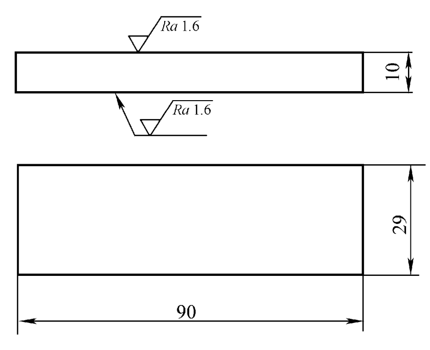
材料：T8A，硬度为 56～60HRC。

图 1-342 顶杆



材料：45 钢，硬度为 43～48HRC。

图 1-343 螺柱



材料：45 钢，硬度为 43～48HRC。

图 1-344 支板

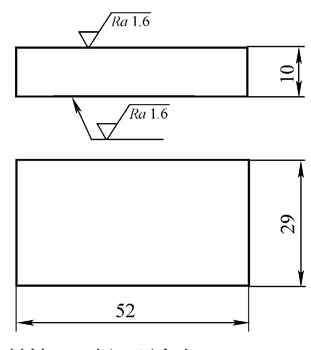
二、钢铁材料冷挤压模

1. 钢铁材料反挤压模通用模

图 1-349 所示为挤压钢铁材料空心件的反挤压通用模，钢铁材料反挤压的单位挤压力大，凸凹模磨损快，制件可能箍在凸模上，更容易卡在凹模内。故该模具结构有如下特点：

1）采用通用模架，只要更换凸模 13 和组合凹模 10 等零件，可以反挤压出不同的挤压件，还可进行正挤压和复合挤压。

2）凸凹模的同轴度可以调整，即通过螺钉 28 调整月牙形板 7 来调整凹模的位置，以保证凸凹模的同轴度。同时可以依靠月牙形板 7 和压板 27 压紧定位，以防挤压过程中凹模位移。



材料：45 钢，硬度为 43～48HRC。

图 1-345 支板

3）凹模为预应力组合凹模结构，承受单位挤压力较大。

4）对于钢铁材料的反挤压，其挤压件可能箍在凸模 13 上，因而设置了导杆 25、卸料板 23、卸料环 14 等组成的卸料装置，卸料板 23 做成弯形是为了减少凸模长度。但挤压件更容易留在凹模 10 内，故又设置了顶杆 3、顶件杆 6 组成的顶件装置。

5）钢铁材料挤压力很大，所以在凸模 13 的上端和顶件杆 6 的下端做成锥度，以增大支承面积，并加以厚垫板 19、4。

2. 钢铁材料复合挤压模

图 1-350 所示为转子制件图，转子挤压件图如图 1-351 所示，经计算毛坯外径 $d_0=48.8$mm，毛坯高度 $h_0=14$mm，模具结构采用图 1-349 所示的钢铁材料反挤压通用模的模架。模具工作部分如图 1-352 所示。

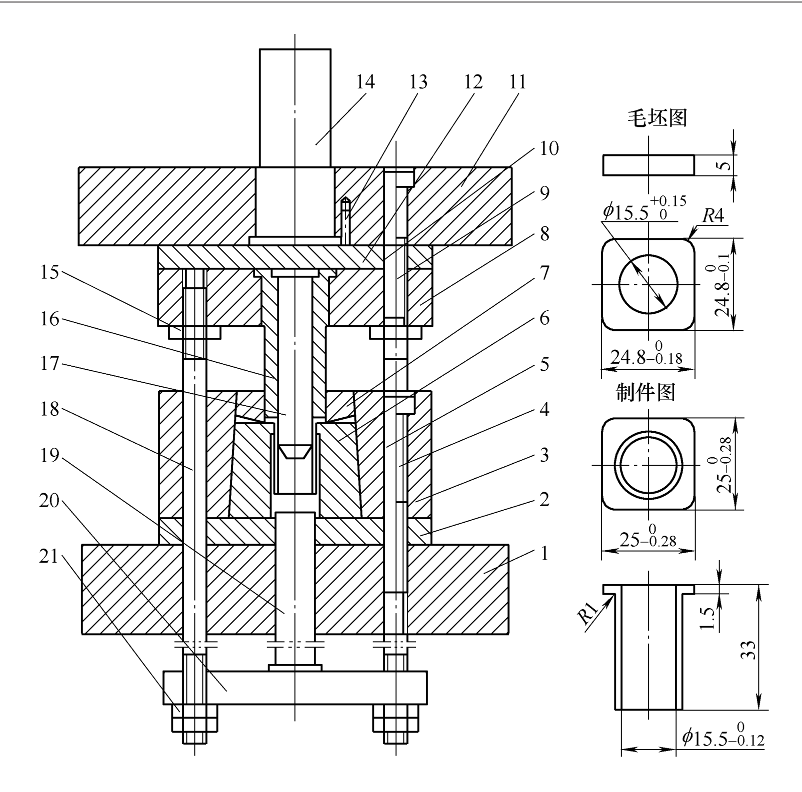


图 1-346　带方凸缘的圆管正挤压模

1—下模座　2、12—垫板　3—预应力圈　4、9—螺钉　5、10、13—销　6—下凹模　7—上凹模　8—凸模固定板　11—上模座　14—模柄　15、21—螺母　16—凸模　17—芯轴　18—拉杆　19—顶件杆　20—顶板

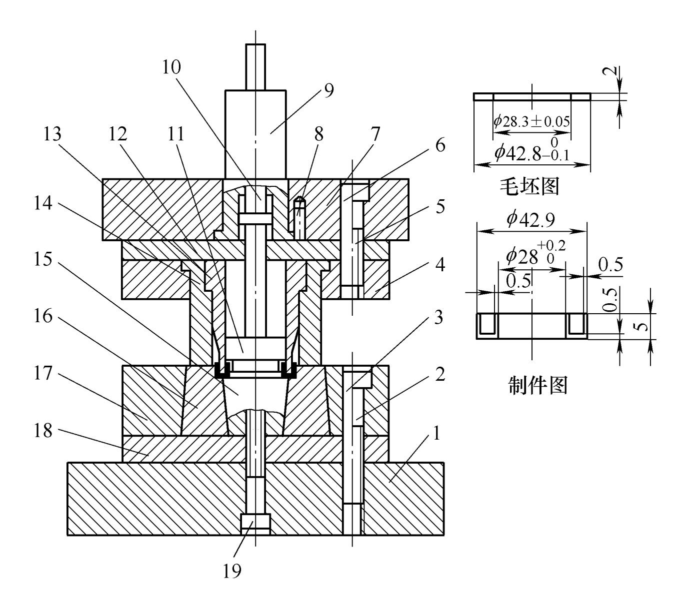


图 1-347　敞开式无导向反挤压模

1—下模座　2、5、19—螺钉　3、6、8—销　4—凸模固定板　7—上模座　9—模柄　10—打杆　11—推板　12、18—垫板　13—凸模　14—限位保护套　15—凹模兼定位柱　16—凹模　17—锥形紧固套

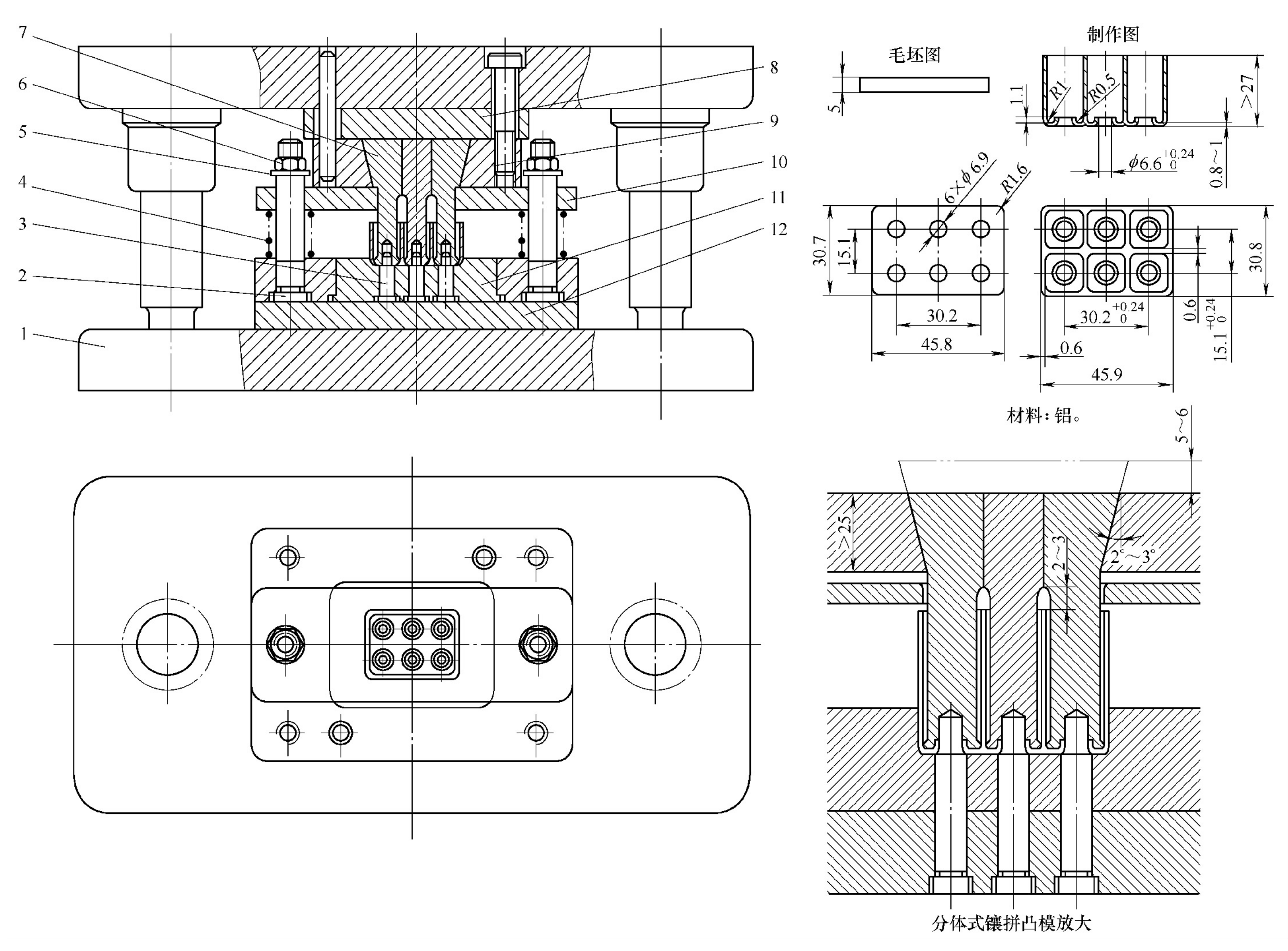


图 1-348　多层方形罩壳反挤压模

1—模架　2—导杆　3—凸模　4—弹簧　5—垫圈　6—螺母　7—组合凸模　8、12—垫板　9—凸模固定板　10—卸料板　11—凹模

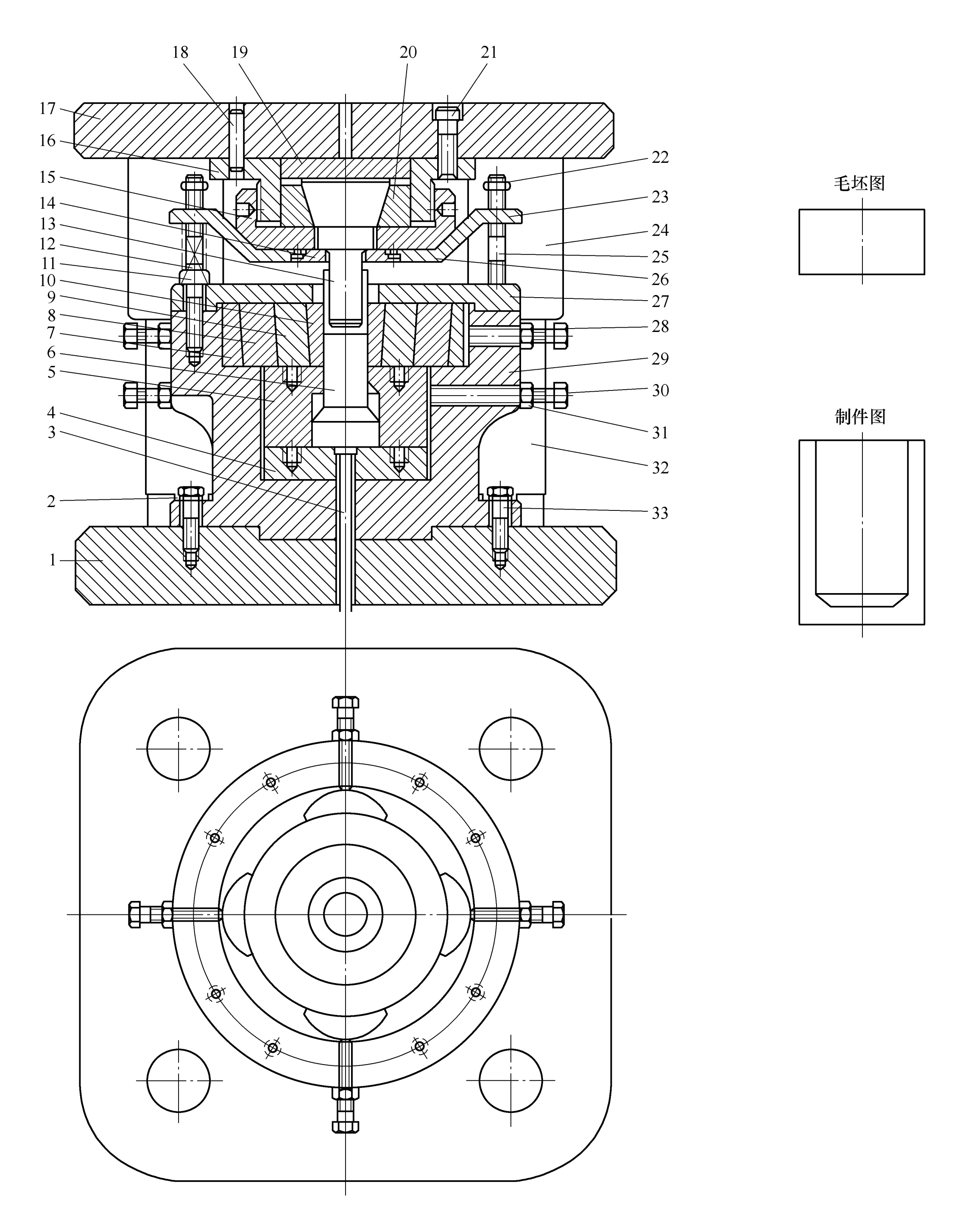


图 1-349　钢铁材料反挤压通用模

1—下模座　2—垫圈　3—顶杆　4、19—垫板　5—垫块　6—顶件杆　7—月牙形板
8—组合凹模外圈　9—组合凹模中圈　10—组合凹模　11、21、26、28、30、33—螺钉
12—弹簧　13—凸模　14—卸料环　15—紧固套　16—凸模固定座　17—上模座
18—销　20—锥形夹紧定位套　22、31—螺母　23—卸料板　24—导套
25—导杆　27—压板　29—下模固定定位框　32—导柱

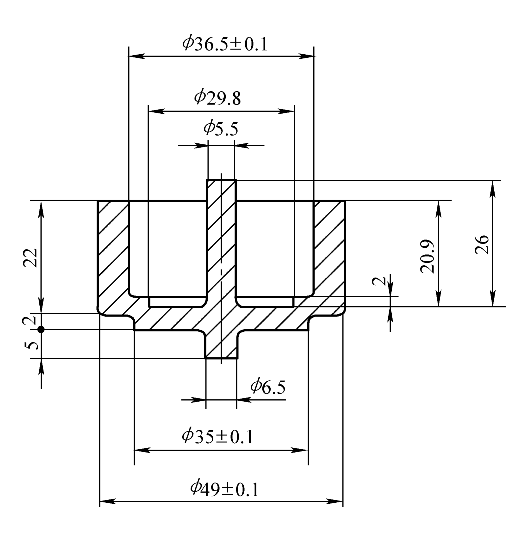


图 1-350　转子制件图

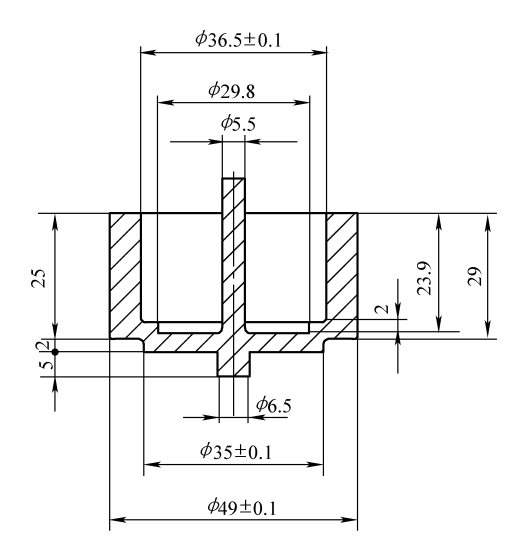


图 1-351　转子挤压件图

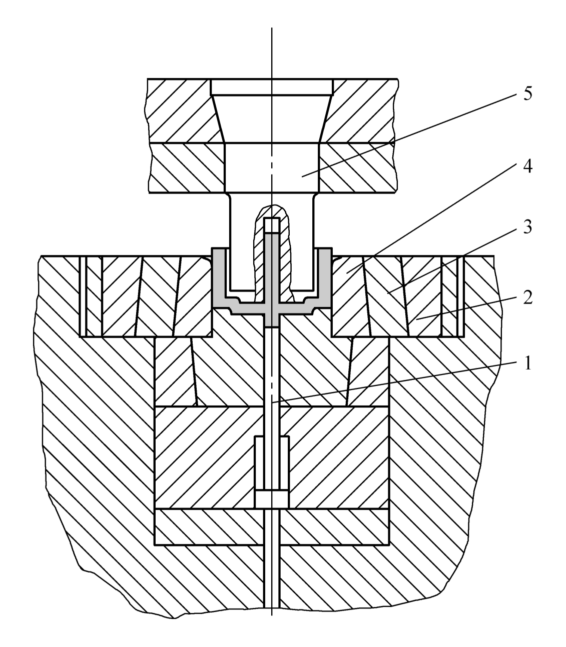


图 1-352　模具工作部分

1—顶杆　2—组合凹模外圈　3—组合凹模中圈　4—凹模　5—凸模

第二章　冲模机构及零件

一、冲模

在冲压工艺中，冲模是冲压加工中所用的工艺装备。加压将金属或非金属板料分离、成形或接合而得到制件的工艺装备叫冲模。

1. 冲模的分类与用途

（1）冲模按工序组合分类（表 2-1）

表 2-1　冲模按工序组合分类

序号	冲模名称	特 点 及 应 用 范 围
1	单工序模	在压力机的一次行程中只能完成一道冲压工序的冲模。它用于只有一个工序的落料模，也用于需多工序成形而分解成单工序的落料模、冲孔模、弯曲模、拉深模、成形模、冷挤压模等
2	复合模	只有一个工位，并在压力机的一次行程中，同时完成两道或两道以上冲压工序的冲模。如冲孔落料复合模、落料弯曲复合模、落料拉深复合模等。适合于制造形状复杂、精度和表面质量要求高的制件
3	级进模	在条料、卷料的送料方向上，具有两个以上工位，并且在压力机的一次行程中，在不同的工位上完成两道或两道以上冲压工序的冲模。级进模的生产率高，适合大批量生产。一般中小型复杂制件，尤其是复杂弯曲件、小型复杂拉深件，常采用自动送料装置在级进模中制造

（2）冲模按工艺性质分类（表 2-2）

表 2-2　冲模按工艺性质分类

序号	冲模名称	特点及应用范围
1	冲裁模	使板料分离，得到所需形状和尺寸的平片毛坯或制件的冲模。常用的有落料模、冲孔模、修边模、切口模、切舌模、剖切模、切断模、整修模、精冲模等
2	弯曲模	将毛坯或半成品制件沿弯曲线弯成一定角度和形状的冲模
3	拉深模	把毛坯拉压成空心体，或者把空心体拉压成外形更小而板厚没有明显变化的空心体的冲模
4	成形模	使板料发生局部的塑性变形，按凸模与凹模的形状直接复制成形的冲模。主要有翻边模、缩口模、扩口孔、胀形模、整形模等
5	冷挤模	使金属坯料在凸模压力作用下通过凹模产生塑性变形，使金属材料产生体积转移而挤压成形的冲模。常用的有正挤压模、反挤压模、复合挤压模、径向挤压模等

（3）冲裁模按工序性质分类（表 2-3）

表 2-3　冲裁模按工序性质分类

序号	冲模名称	特点及应用范围
1	落料模	沿封闭的轮廓将制件或毛坯与板料分离的冲模。落下的料可作制件直接使用，也可为弯曲、拉深、成形、冷挤压准备毛坯
2	冲孔模	在毛坯或板料上，沿封闭的轮廓分离出废料得到带孔制件的冲模
3	修边模	切去成形制件多余的边缘材料的冲模。如拉深件修边模
4	切口模	从毛坯或半成品制件的内外边缘上，沿不封闭的轮廓冲出制件边缘切口的冲模
5	切舌模	沿不封闭的轮廓将部分板料切开并使其折弯的冲模
6	剖切模	沿不封闭的轮廓将半成品制件切离为两个或数个制件的冲模
7	切断模	将板料或棒料沿不封闭的轮廓分离的冲模
8	整修模	沿半成品制件被冲裁的外缘或内孔修切掉一层材料，以提高制件尺寸精度和冲裁截面的表面粗糙度的冲模
9	精冲模	使板料处于三向受压的状态下进行冲裁，冲制出冲切面无裂纹和撕裂、尺寸精度高和断面光洁的冲模

（4）拉深模按压力机不同分类（表 2-4）

表 2-4　拉深模按压力机不同分类

序号	冲模名称	特点及应用范围
1	单动压力机拉深模	拉深模结构比双动压力机用拉深模复杂，用于拉深直径及高度不大的拉深件
2	双动压力机拉深模	用于拉伸件直径及高度较大的拉深件

（5）拉深模按工序组合分类（表 2-5）

表 2-5　拉深模按工序组合分类

序号	冲模名称	特点及应用范围
1	单工序拉深模	用于生产批量不大的拉深件
2	复合工序拉深模	用于生产批量较大的拉深件。如落料拉深复合模、落料拉深冲孔复合模、落料拉深翻边复合模等
3	连续拉深级进模	用于需要多次拉深才能成形的中小型制件，特别适用于极小制件的拉深，连续拉深级进模的生产率高，可采用自动送料连续拉深。一般用于生产批量大，直径小于50mm 制件的拉深

（6）成形模按制件的特征分类（表 2-6）

表 2-6　成形模按制件的特征分类

序号	冲模名称	特点及应用范围
1	翻边模	将制件的孔边缘或外边缘翻起竖立直边的成形模
2	缩口模	使空心毛坯或管状毛坯端部的径向尺寸缩小的成形模
3	扩口模	使空心毛坯或管状毛坯口部的径向尺寸扩大的成形模
4	胀形模	使空心毛坯内部在双向拉应力作用下，产生塑性变形，取得凸肚形制件的成形模
5	整形模	矫正制件成准确的形状和尺寸的冲模

2. 冲模零件的分类

根据冲模零件的不同作用，可将零件分为两大类（表 2-7），具体分类见表 2-8。

表 2-7　冲模零件的分类

序号	零件类别	特 点 及 应 用 范 围
1	工艺零件	直接参与完成冲压工艺过程，并与被冲材料直接发生作用的零件叫工艺零件。包括工作零件，定位零件，卸料、推件、顶件零部件
2	结构零件	不直接参与完成冲压工艺工作，也不与被冲材料发生作用，只对冲模完成工艺过程起保证作用，或对模具的功能起完善作用的零件叫结构零件。包括导向零件、固定零件、紧固零件及其他零件

表 2-8　冲模零部件的具体分类

<table>
<tr><td rowspan="4">冲模零部件</td><td rowspan="2">工艺零件</td><td colspan="2">工作零件</td><td colspan="2">定位零件</td><td>卸料、推件、顶件零部件</td></tr>
<tr><td colspan="2">1）凸模
2）凹模
3）凸凹模
4）凹模镶件、凹模拼块</td><td colspan="2">1）导正销
2）导料板、导料销
3）定位板、定位销
4）侧刃、侧刃挡板
5）承料板</td><td>1）卸料装置
2）顶件装置
3）推件装置
4）废料切刀</td></tr>
<tr><td rowspan="2">结构零件</td><td>导向零件</td><td colspan="2">固定零件</td><td>紧固零件</td><td>其他零件</td></tr>
<tr><td>1）导柱、导套
2）导板
3）导筒</td><td colspan="2">1）上、下模座
2）凸模、凹模固定板
3）垫板
4）模柄</td><td>1）螺钉
2）销钉
3）键</td><td>1）斜锲
2）滑块等</td></tr>
</table>

二、工作零件

直接对毛坯和板料进行冲压加工的冲模零件称为工作零件。它包括凸模、凹模、凸凹模、凹

模镶件、凹模拼块等。

1. 凸模

在冲压过程中，冲模中被制件或废料所包容的工作零件叫凸模，一般用于冲压加工制件内孔或内表面。

(1) 凸模的形式　由于制件的形状和尺寸的不同，冲模结构与加工及装配工艺等实际条件的不同，凸模工作部分的形状是各式各样的，但按工作部分和固定部分的形状不同基本分为两种。一种是台阶式凸模，即工作部分和固定部分的形状和尺寸不一致，工作部分是各式各样的，固定部分是圆形的或矩形的。另一种是直通式凸模，即工作部分和固定部分的形状和尺寸完全一致。圆形凸模一般都采用台阶式，非圆形凸模在强度与刚度足够时，应尽量采用直通式，以便线切割加工和成形磨削加工。

(2) 凸模固定方法（表2-9）

表2-9　凸模固定方法

序号	简 图	说 明
1	整体式	凸模与模柄作成一体的凸模，用于数量较少的简单无导向的冲模。如简单落料模、冲孔模、弯曲模、拉深模、成形模等
2	1 2 叠装式 1—上模座　2—凸模	对于比较大的凸模，可采用螺钉、销直接和上模座叠加定位、固定，其安装简便，稳定可靠，一般用于冲孔模、落料模、弯曲模及各种成形模
3	台阶式Ⅰ	台阶式固定，一般用于圆形凸模。常用于落料模、冲孔模、复合模、级进模、拉深模、成形模，采用配作加工，达过渡配合H7/m6
4	台阶式Ⅱ	一般用于工作部分投影类似圆形凸模，但必须在固定端加防转定位，常用于落料模、冲孔模、复合模、级进模、成形模，采用配作加工，达过渡配合 H7/m6
5	台阶式Ⅲ	一般用于工作部分投影类似矩形凸模，固定部分采用矩形，常用于落料模、冲孔模、复合模及成形模，采用配作加工，达过渡配合 H7/m6

（续）

序号	简 图	说 明
6	铆接式	铆接式固定，为普通冲模非圆形凸模在强度和刚度足够时采用直通式凸模的方法，一般用于落料模、冲孔模、复合模、级进模、弯曲模及成形模，采用配作加工，达过渡配合 H7/m6
7	浇注、粘接式	用环氧树脂或低熔点合金，也可用无机粘接将凸模固定在凸模固定板上，用于冲裁料厚小于 2mm 且冲裁力不太大的凸模
8	挂销式	在凸模固定部分穿孔，插入销钉以承受卸料力。凸模和固定板可采用 H7/m6 配合，也可采用 0.02mm 的间隙配合，但这时卸料板必须起精密导向作用，一般用于多工位级进模
9	压块式	在凸模固定处开槽，将凸模插入固定板后，用压板将凸模固定在凸模固定板中，凸模和凸模固定板采用 0.006～0.01mm 的间隙配合。凸模处于浮动状态，卸料板必须起导向作用，用于高效率、高精度、高寿命级进模
10	插入式	凸模插入固定板后，用螺堵加顶柱将凸模固定，更换方便，用于高效率、高精度、高寿命级进模。凸模和凸模固定板采用 0.006～0.01mm 的间隙配合。凸模靠卸料板导向
11	螺钉式	用螺钉将凸模固定在凸模固定板中，可用于任何形状的凸模。用于普通冲模采用 H7/m6 配合；用于高效率、高精度、高寿命级进模采用 0.006～0.01mm 的间隙配合，凸模靠卸料板导向

（3）凸模的长度　落料模、级进模、复合模的结构已标准化，凸模长度应按标准结构选取。若采用非标准结构，可按下式计算。有关数据如图 2-1 所示。

$$L = h_1 + h_2 + h_3 + h \tag{2-1}$$

式中　L——凸模长度（mm）；

h_1——凸模固定板厚度（mm）；

h_2——固定卸料板厚度（mm）；

h_3——导料板厚度（mm）；

h——附加长度（mm），一般取 15～20mm。

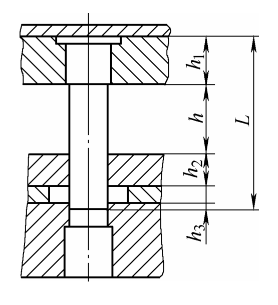


图 2-1　凸模长度的计算

（4）凸模强度与刚度校核　一般情况下，凸模强度与刚度是足够的，没有必要进行校核。但是，当凸模的断面尺寸很小，凸模长度又长同时制件较厚时，则应进行承压能力和抗纵向弯曲能力的校核。

1）承压能力校核。

对于圆形模
$$d_{min} \geqslant \frac{4t\tau}{[R_{mc}]} \tag{2-2}$$

对于其他形状凸模
$$S_{min} \geqslant \frac{F'_z}{[R_{mc}]} \tag{2-3}$$

式中　d_{min}——凸模最小直径（mm）；

S_{min}——凸模最小横截面积（mm^2）；

F'_z——凸模纵向所承受的压力，它包括冲裁力和推件力或顶件力（N）；

t——制件厚度（mm）；

τ——材料抗剪强度（MPa）；

$[R_{mc}]$——凸模材料淬火回火后的许用压应力（MPa），可取$[R_{mc}]$＝（1.0～1.6）×10^3MPa，如凸模有导向可取$[R_{mc}]$＝（2～3）×10^3MPa。

2）失稳弯曲应力校核。

有导向的异形凸模
$$L_{max} \leqslant 1200\sqrt{\frac{I}{F'_z}} \tag{2-4}$$

有导向的圆凸模
$$L_{max} \leqslant 270\frac{d^2}{\sqrt{F'_z}} \tag{2-5}$$

无导向的异形凸模
$$L_{max} \leqslant 425\sqrt{\frac{I}{F'_z}} \tag{2-6}$$

无导向的圆凸模
$$L_{max} \leqslant 95\frac{d^2}{\sqrt{F'_z}} \tag{2-7}$$

式中　L_{max}——凸模允许最大长度（mm）；

I——凸模最小横截面积的惯性矩（mm^4）。

2. 凹模

在冲压过程中，与凸模配合直接对制件进行分离或成形的工作零件叫凹模。

凹模的形式有圆形和矩形两种，圆形凹模大多用于圆形制件的落料、冲孔、复合、翻边、缩口、胀形冷挤压等模具中。矩形凹模可用于各种不同类型的冲模中，尤以级进模用得最多。

1）冲裁模凹模洞口结构形式见表 2-10，凹模洞口主要参数见表 2-11。

表 2-10　冲裁模凹模刃口形式

序号	简 图	特点	适 用 范 围
1		直壁式凹模洞口，刃口强度高，修磨后刃口尺寸不变	复合模或有顶出装置的落料模

（续）

序号	简 图	特点	适 用 范 围
2		直壁式凹模洞口，刃口下面为扩大的漏料孔。刃口修磨后尺寸基本不变，但经多次修磨后刃口强度降低。小间隙冲裁时，洞口积存制件或废料，洞口胀力大，磨损大	20世纪70年代前用于冲小孔模；线切割应用后，广泛应用于落料模、冲孔模和级进模，也可用于复合模
3		直壁式凹模洞口，刃口下面为斜壁式刃口，修磨后尺寸基本不变。小间隙冲裁时，洞口积存制件或废料，洞口胀力大，磨损大	20世纪70年代前用于钳工压修加工，制造方便，现今应用较少
4		斜壁式刃口，刃口锐利，摩擦力和侧压力都较小，漏料通畅，使用寿命长	20世纪70年代前用于钳工压修加工主要形式，线切割应用后使用较少，如今线切割可加工斜度，所以落料、冲孔、级进模都可使用
5		双斜壁式刃口，刃口锐利，摩擦力和侧压力都较小，漏料通畅，压修时制造方便	钳工压修时应用较多，现今应用较少，不推荐使用
6		斜壁式刃口，钳工压修时制造方便	钳工压修时制造方便，现今应用较少，不推荐使用

表 2-11　凹模洞口主要参数

材料厚度 t/mm	α	β	直刃口高度 h/mm
≤0.5	15′	2°	≥4
>0.5～1.0	15′	2°	≥5
>1.0～2.5	15′	2°	≥6
>2.5	30′	5°	≥8

2）凹模轮廓尺寸的确定（图 2-2）。凹模一般不进行强度计算，而是根据经验选用标准尺寸，也可按下列经验公式计算后再选用标准尺寸。

$$H = Kb \tag{2-8}$$

一般不小于 8mm。

$$c = (1.5 \sim 2)H \tag{2-9}$$

$$B = b + (3 \sim 4)H \tag{2-10}$$

$$L = l + 2c \tag{2-11}$$

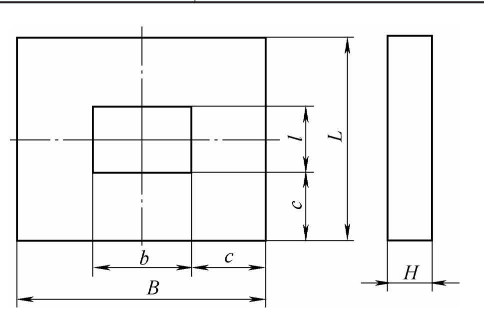


图 2-2　凹模外形尺寸

式中　H——凹模厚度（mm）；

K——系数，见表 2-12；

b——冲裁件最大宽度（mm）；

c——凹模壁厚（mm）；

B——凹模宽度（mm）；

L——凹模长度（mm）；

l——冲裁件最大长度（mm）。

表 2-12　系数 *K* 的数值

凹模孔的最大宽度 b/mm	材料厚度 t/mm		
	≤1	>1～3	>3～6
	K		
≤50	0.3～0.4	0.35～0.5	0.45～0.6
>50～100	0.2～0.3	0.22～0.35	0.30～0.45
>100～200	0.15～0.2	0.12～0.22	0.22～0.30

对于多工位的级进模，凹模可按表 2-15 选取凹模尺寸，计算后按近似值选取标准凹模。矩形凹模板见表 2-13。

表 2-13　凹模洞口与边缘、洞口与洞口之间距离 *c*　　（单位：mm）

条料宽度	材料厚度 t			
	≤0.8	>0.8～1.5	>1.5～3.0	>3.0～5.0
≤40	20	22	28	32
>40～50	22	25	30	35
>50～70	28	30	36	40
>70～90	34	36	42	46
>90～120	38	42	48	52
>120～150	40	45	52	55

注：1. c 的偏差按凹模洞口复杂程度，可取 ±8mm。

2. b 的数值由凹模洞口复杂程度而定，一般不小于 5mm，但冲薄材料小孔之间可小些，大孔之间应大些。

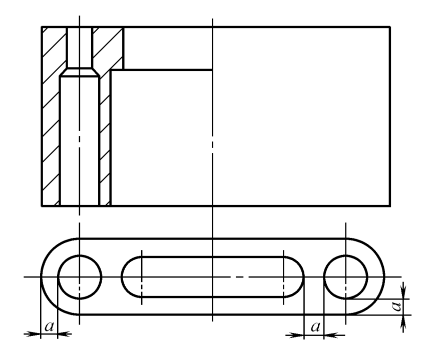
凹模一般都采用螺钉、销钉定位和紧固，因此螺钉孔和销钉孔之间的距离，螺钉孔和销孔距凹模边缘及刃口的距离不能太近，否则会影响模具的使用寿命。孔距的最小值可参见表 2-16。

表 2-14　螺钉孔和销钉孔之间及螺钉孔至刃口和边缘的最小距离　　（单位：mm）



螺钉直径	M4	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24
A	8	10	12	14	16	20	25	30
B	7	11	14	17	19	24	28	35
C	5							

表 2-15　倒装复合模凸凹模最小壁厚 a　（单位：mm）



材料厚度 t	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
最小壁厚 a	1.4	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6	4.0	4.4	4.9	5.2	5.6	6.0
材料厚度 t	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
最小壁厚 a	6.4	6.7	7.1	7.2	7.4	8.1	8.5	8.8	9.1	9.4	9.7	10

3. 凸凹模

复合模中同时具有凸模和凹模作用的工作零件叫凸凹模。在冲裁类复合模中，凸凹模内外缘均为刃口。由于内外缘之间的壁厚决定冲裁件的孔边距，因此当冲裁件的孔边距较小时，必须考虑凸凹模的强度；尤其是倒装复合模，当孔边距太小时，凹模洞口阻塞的废料容易把洞口胀裂。凸凹模的最小壁厚 a 见表 2-15。

4. 凸、凹模的镶拼式结构

1）对于形状复杂或凹模洞口强度较差的凹模，可采用局部镶拼，如图 2-3 所示。

2）对于大型凸、凹模，往往给锻造、机械加工及热处理带来困难，而且当发生局部损坏时，会造成整个凸、凹模的报废。因此，常采用如图 2-4 所示的镶拼结构。

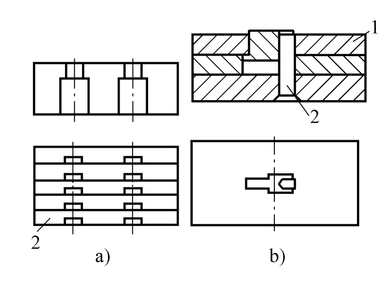


图 2-3　局部镶拼凹模

1—凹模　2—镶块

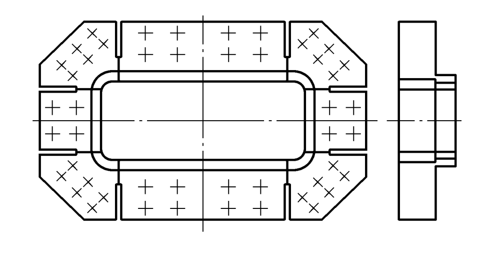


图 2-4　大型凹模镶拼结构

3）对于普通级进模中形状复杂或洞口强度较差，使加工维修困难的凹模洞口，可采用局部镶块结构，如图 2-5 和图 2-6 所示。图 2-5 所示凹模镶块结构提高了凹模洞口的强度，便于更换维修。图 2-6 所示凹模镶块结构给矩形拉深凹模的加工和维修带来了方便。

5. 复杂级进模凹模结构

对于带弯曲、成形等多工位复杂级进模，或高效率、高精度、高寿命的三高级进模，为了凸、凹模损坏时能即时更换，一般都采用下列几种结构。

1）凹模镶块嵌入式固定，如图 2-7 所示。它是将凹模镶件或凹模镶块嵌入到凹模固定板相应的孔中的一种方法，配合过盈量一般为 0.005 ~ 0.01mm 为宜，具体应用如图 2-8 和图 2-9 所

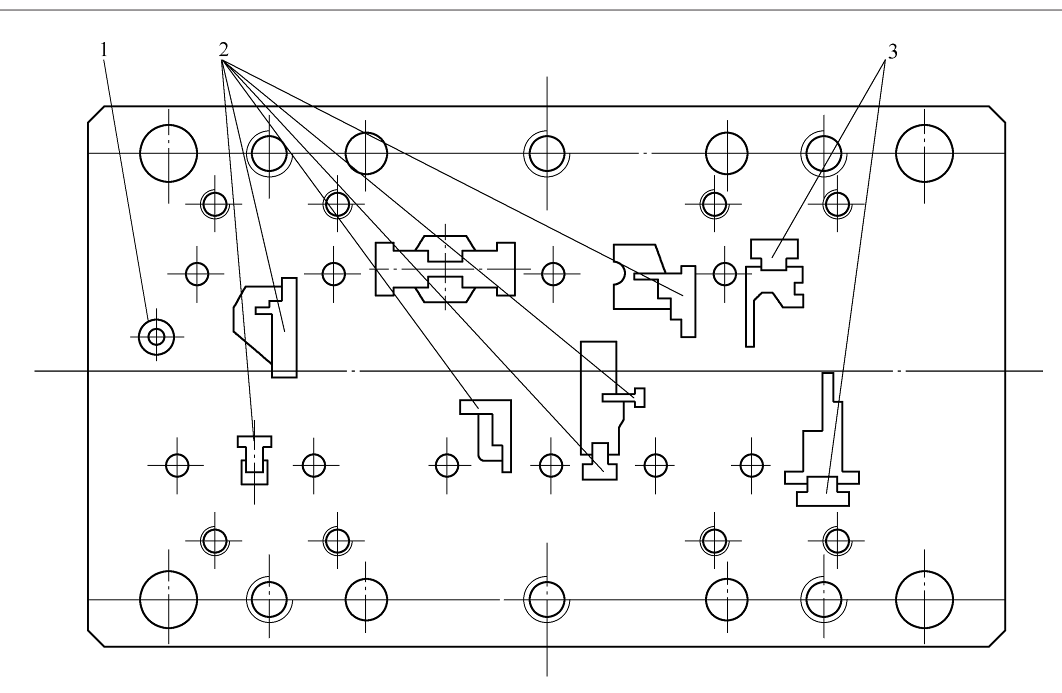


图 2-5　局部镶块结构

1—冲孔镶件　2—凹模镶块　3—凹模镶块

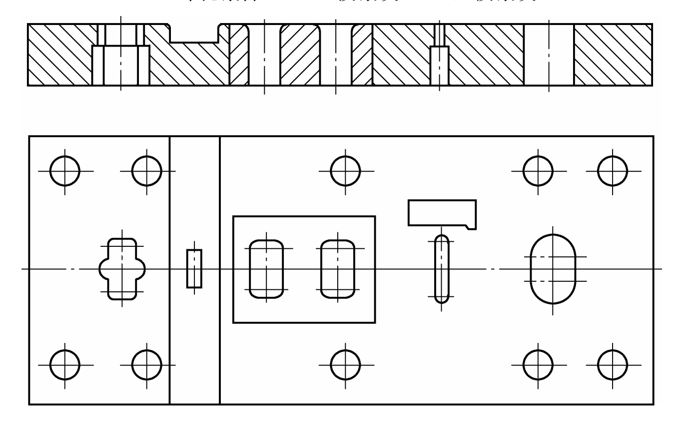


图 2-6　局部镶块结构

示。

2）模块式凹模，整个凹模是由若干模块精加工后拼合而成的，以便于加工、刃磨、调整和维修。

图 2-10 所示为模块式凹模直槽式固定，它是在凹模固定板上精加工出直通凹槽，槽宽与拼块的外形有 0.002mm 的配合间隙。装配时，首先在直槽两侧用螺钉紧固好左右挡板 1；接着将中心块 4 用螺钉和销定位紧固在凹模固定板中部，作为装配测量模块式凹模的基准。中心块一般接近模具中

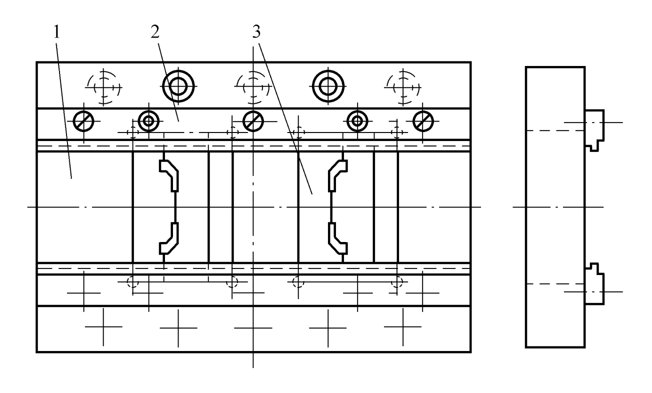


图 2-7　凹模镶块嵌入式固定

1—凹模固定板　2—导料板　3—凹模镶块

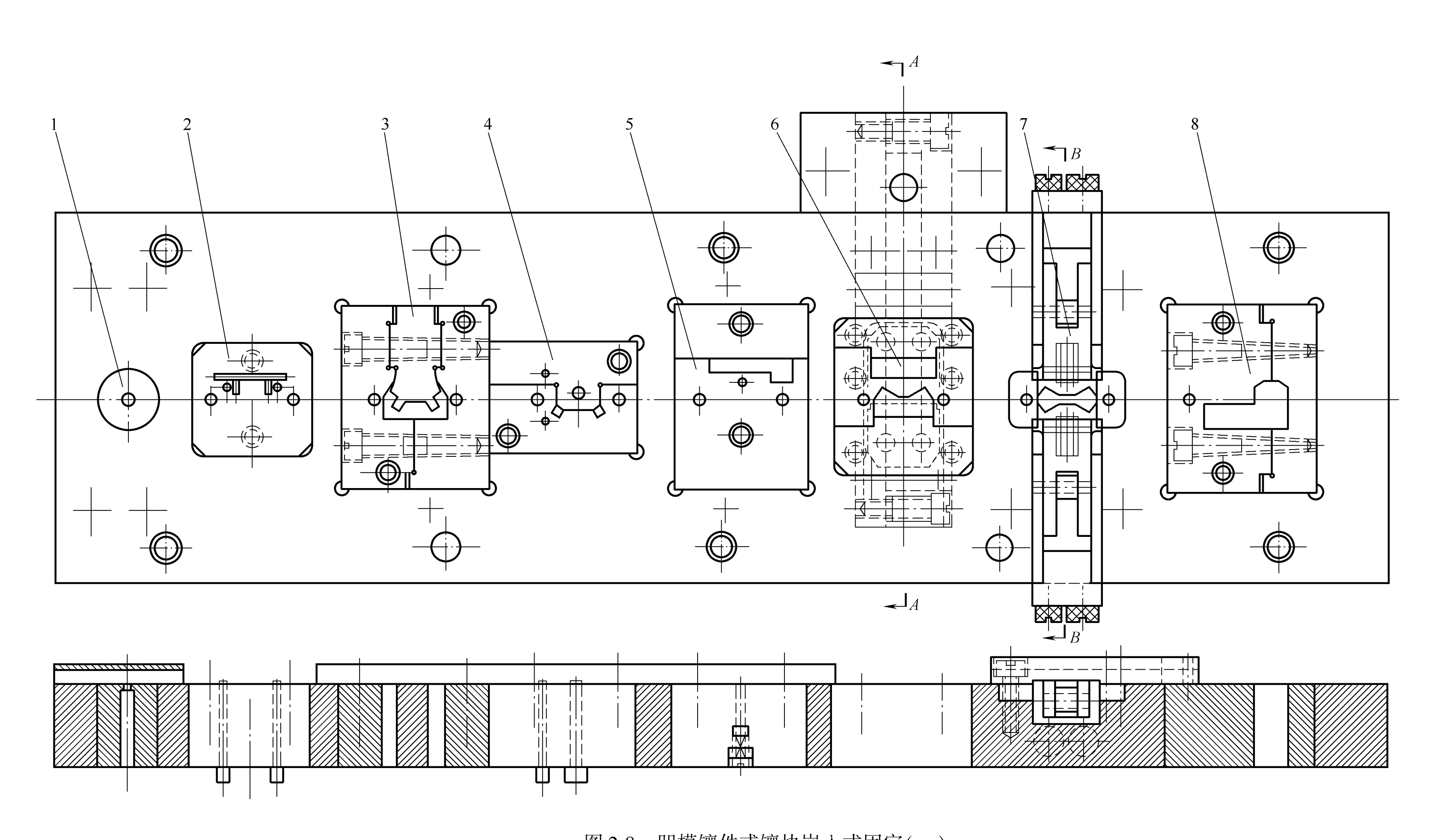


图 2-8　凹模镶件或镶块嵌入式固定(一)

1—冲导正销孔　2—压肋镶块　3、5—冲外形镶块　4、6—弯曲镶块　7—弯曲整形镶块　8—切割分离制件镶块

心，模块式凹模从中心开始，依次装入凹模固定板的槽内，最后用螺钉紧固带有 3°～7°的左右楔块 6，将各模块式凹模锁紧。

图 2-11 所示为模块式凹模围框式固定，它是将级进模中的凹模分解成 7 个模块后再镶入围框内。

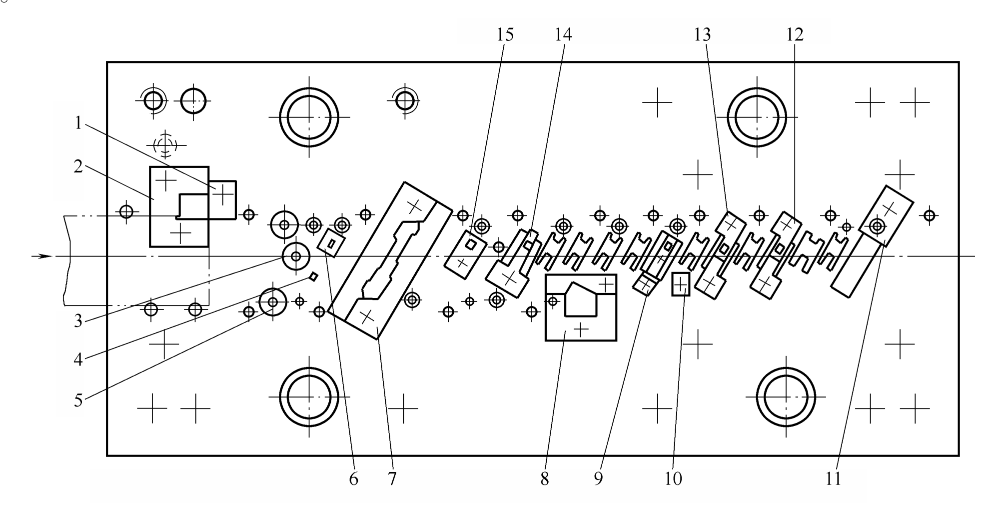


图 2-9　凹模镶件或镶块嵌入式固定（二）

1—侧刃挡板镶块　2—侧刃冲裁镶块　3、5—冲孔镶件　4、6—冲长方孔镶块　7—冲外形镶块　8—切边镶块　9、10、12、13、14、15—弯曲镶件　11—切断镶块

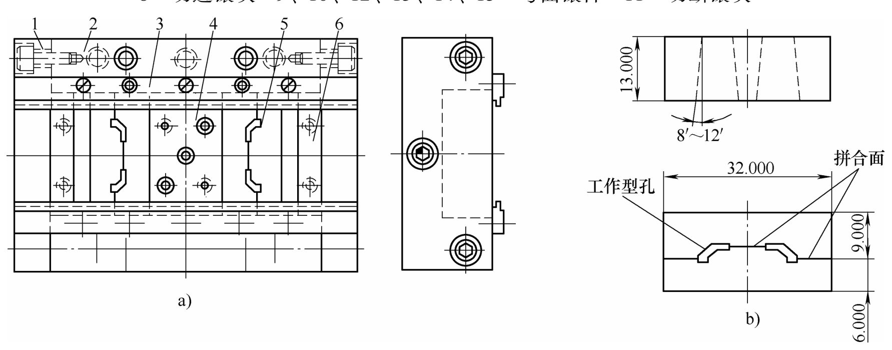


图 2-10　模块式凹模直槽式固定

a）固定方法　b）模块

1—左右挡块　2—凹模固定板　3—导料板　4—中心块　5—模块　6—左右楔块

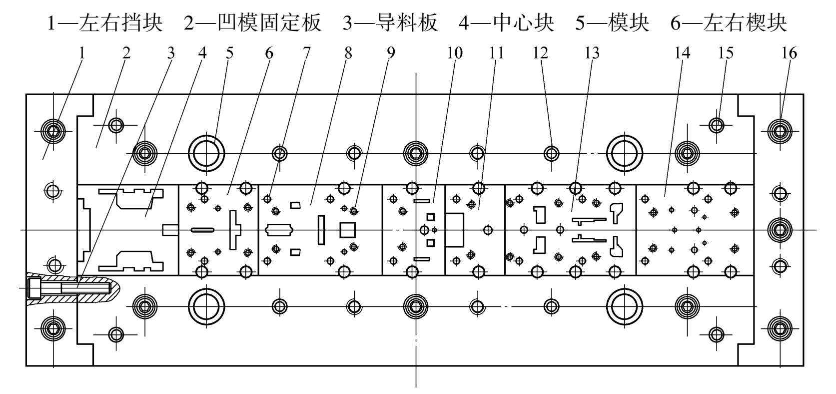


图 2-11　模块式凹模围框式固定

1、2—围框　3、9、16—螺钉　4、6、8、10、11、13、14—模块　5—导套　7、12、15—销

图 2-12 所示为模块式凹模直接固定法，这主要用于单一模块面积较大的情况，可用螺钉和销将模块直接固定在下模座上。图 2-12 所示为某电动机的定转子多工位级进模的模块式凹模拼合情况，凹模由 1 ~4 四个模块拼合而成，模块 1 中有工位①和②，为冲转子轴孔、槽孔和导正销孔；模块 2 中有工位③，冲转子叠压点及扭角；模块 3 中有工位④和⑤，为转子落料叠装，冲定子槽；模块 4 中有工位⑥和⑦，为冲定子叠压点及定子落料叠装。

在采用模块式凹模的同时，还对冲定子、转子的槽孔、轴孔、导正销孔采用了镶块和镶件结构，如图 2-13 所示为转子槽采用镶块结构的形式。镶块用套圈固定，平面位置较小时，采用如图 2-13a 所示带台形式；平面位置较大时，采用图 2-13b 所示直接用螺钉和销固定。

3）子模具组合凹模，如图 1-212 所示结构。

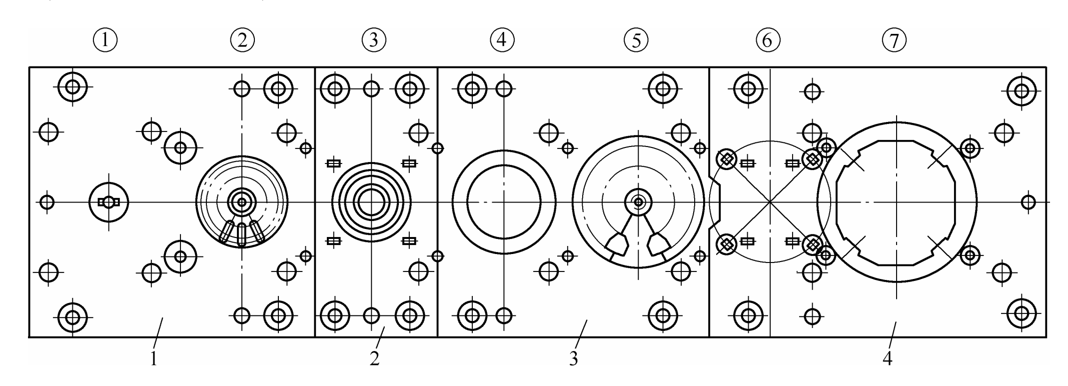


图 2-12　模块式凹模直接固定

1 ~4—模块

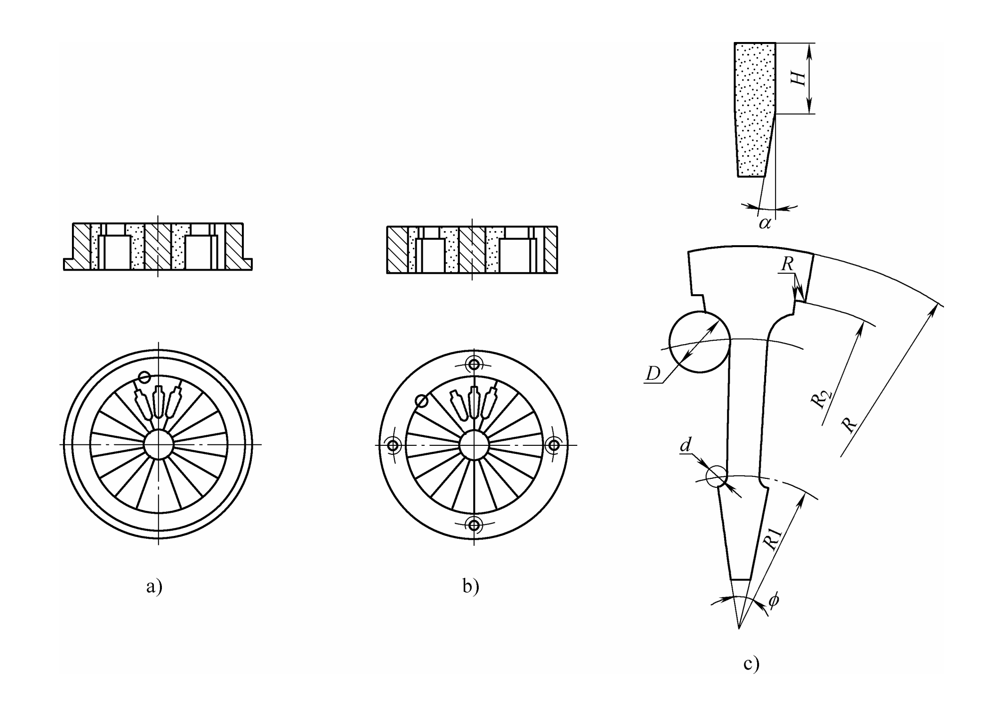


图 2-13　转子镶块凹模

a）带台固定　b）螺钉固定　c）凹模镶块

三、定位零件

确定条料或毛坯在冲模中正确位置的零件叫定位零件。

1. 条料送料方向的控制

使用条料的一般为落料模、冲裁类级进模和复合模。为了使条料能沿正确的方向送进，一般都把条料紧靠导料板或导料销的一侧导向送进，以免送偏，导料销一般两个一起用。

（1）导料板　对条料的侧边进行导向，以保证其正确送料方向的板件叫导料板。

导料板用于落料模和级进模中，在小型模具中，导料板一般做成一长一短，保证送料方便。在长导料板下面装承料板，将条料放在承料板上靠着长导料板向前送进，以提高送料效率，如图2-14a 所示。在中、大型模具中，导料板做成一样长，如图 2-14b 所示。

长导料板宽度

$$B_1 = (L - B)/2 \tag{2-12}$$

短导料板宽度

$$B_2 = B_1 - (0.5 \sim 1) \tag{2-13}$$

式中　L——凹模宽度（mm）；
　B——条料宽度（mm）；
　B_1——长导料板宽度（mm）；
　B_2——短导料板宽度（mm）。

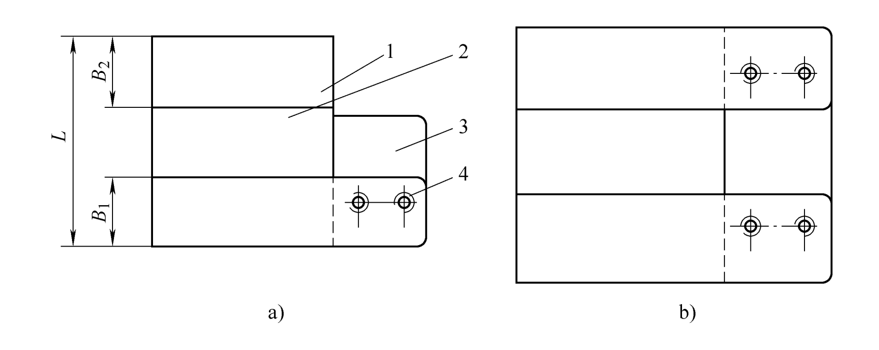


图 2-14　导料板
1—导料板　2—凹模　3—承料板　4—螺钉

导料板的厚度取决于材料厚度、挡料方向和卸料方式。用固定卸料板卸料时，导料板厚度按表 2-16 选取。

弹压卸料板用导料板厚度，不管采用什么定距，都按固定卸料板用导料板厚度侧刃一栏选用。

（2）导料销　对条料的单侧边或双侧边进行导向，以保证其正确的送料方向的销叫导料销。因导料销和挡料销的结构和尺寸完全一样，所以导料销用机械行业标准挡料销代替。

表 2-17 为 JB/T 7649. 10—2008 规定的固定挡料销，其结构简单，制造方便，用于落料模、级进模及正装复合模的导料及定距挡料。

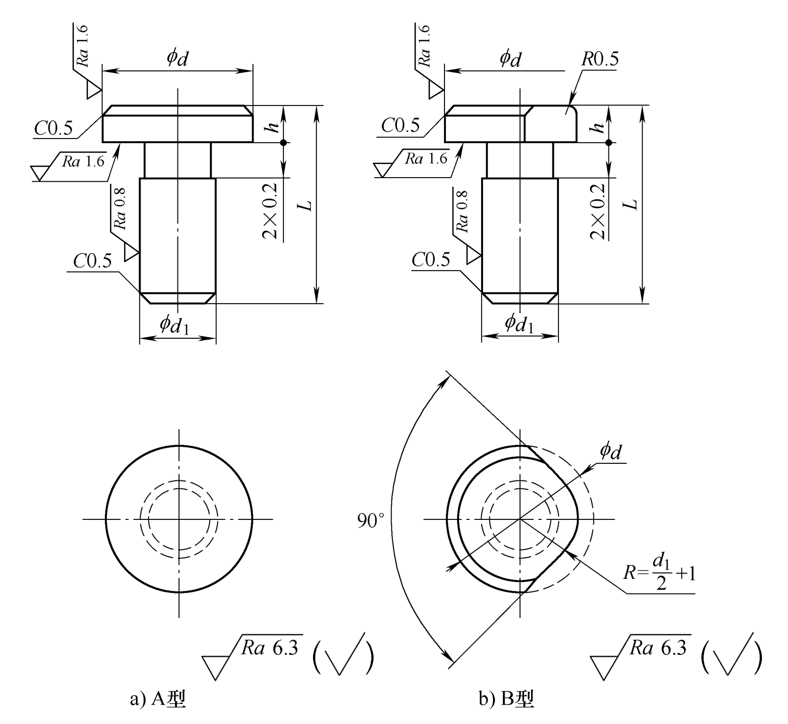
表 2-18 和表 2-19 为 JB/T 7649. 5—2008 规定的弹簧弹顶挡料装置，其结构简单，制造方便，用于倒装复合模定距挡料及导料。

表 2-20 ~ 表 2-22 为 JB/T 7649. 6—2008 规定的扭簧弹顶挡料装置，其结构简单，制造方便，用于倒装复合模定距挡料及导料。表 2-24 为活动挡料销。

表 2-16　固定卸料板用导料板厚度　（单位：mm）

材料厚度 t	挡料销高度 h	导 料 板 厚 度	
		固定挡料销	侧 刃
< 1	2	4 ~ 6	3 ~ 4
1 ~ 2	3	6 ~ 8	4 ~ 6
2 ~ 3	4	8 ~ 10	6 ~ 8
3 ~ 4	5	10 ~ 12	
4 ~ 6	5	12 ~ 15	
6 ~ 10	6	15 ~ 25	

表 2-17　固定挡料销（摘自 JB/T 7649. 10—2008）　（单位：mm）



a) A型　　b) B型

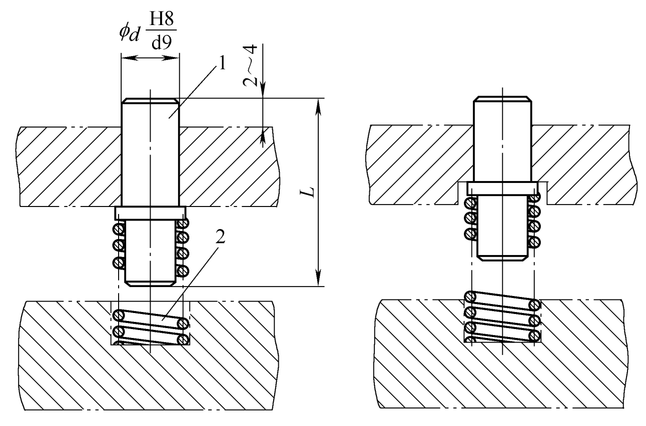
示例：d = 10mm 的 A 型固定挡料销标记如下：

固定挡料销 A 10　JB/T 7649. 10—2008

d h11	d_1 m6	h	L
6	3	3	8
8	4	2	10
10	4	3	13
16	8	3	13
20	10	4	16
25	12	4	20

材料：45 钢，硬度为 43 ~ 48HRC

表 2-18　弹簧弹顶挡料装置（摘自 JB/T 7649.5—2008）　　（单位：mm）



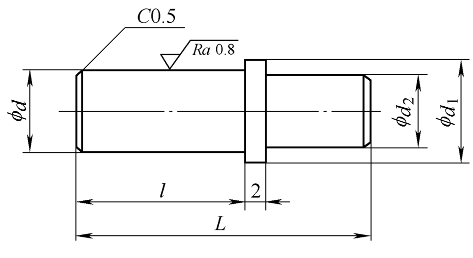
示例：d = 6mm，L = 22mm 的弹簧弹顶挡料装置标记如下：

弹簧弹顶挡料装置　6 × 22　JB/T 7649.5—2008

公称尺寸		弹簧弹顶挡料销	弹簧 GB/T 2089	公称尺寸		弹簧弹顶挡料销	弹簧 GB/T 2089
d	L			d	L		
4	18	4 × 18	0.5 × 6 × 20	10	30	10 × 30	1.6 × 12 × 30
	20	4 × 20			32	10 × 32	
6	20	6 × 20	0.8 × 8 × 20	12	34	12 × 34	1.6 × 16 × 40
	22	6 × 22			36	12 × 36	
	24	6 × 24	0.8 × 8 × 30		40	12 × 40	
	26	6 × 26		16	36	16 × 36	2 × 20 × 40
8	24	8 × 24	1 × 10 × 30		40	16 × 40	
	26	8 × 26			50	16 × 50	
	28	8 × 28		20	50	20 × 50	2 × 20 × 50
	30	8 × 30			55	20 × 55	
10	26	10 × 26	1.6 × 12 × 30		60	20 × 60	
	28	10 × 28					

材料：45 钢，硬度为 43 ~ 48HRC

表 2-19　弹簧弹顶挡料销（摘自 JB/T 7649.5—2008）



示例：d = 6mm，L = 22mm 的弹顶挡料销标记如下：

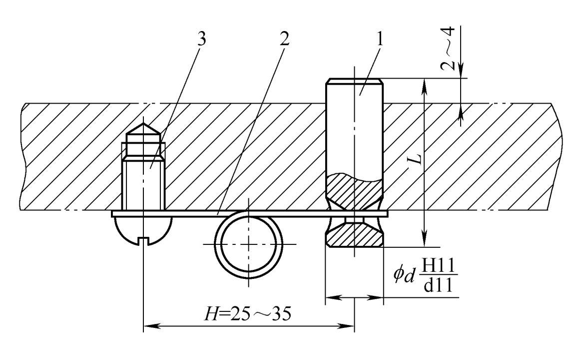
弹簧弹顶挡料销　6 × 22　JB/T 7649.5—2008

（续）

d d9	d_1	d_2	l	L	d d9	d_1	d_2	l	L
4	6	3.5	10	18	10	12	8	18	30
			12	20				20	32
6	8	5.5	10	20	12	14	10	22	34
			12	22				24	36
			14	24				28	40
			16	26	16	18	14	24	36
8	10	7	12	24				28	40
			14	26				35	50
			16	28	20	23	15	35	50
			18	30				40	55
10	12	8	14	26				45	60
			16	28					

材料：45 钢，硬度为 43 ~48HRC

表 2-20　扭簧弹顶挡料装置（摘自 JB/T 7649.6—2008）



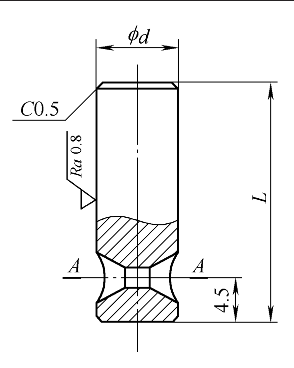
1—挡料销　2—扭簧　3—螺钉

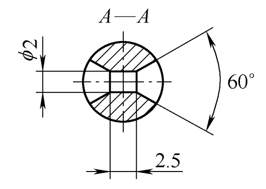
示例：$d=8$mm，$L=24$mm 的扭簧弹顶挡料装置标记如下：

扭簧弹顶挡料销装置　8×24　JB/T 7649.6—2008

公称尺寸		挡料销	扭簧	螺钉
d	L			
4	18	4×18	6×30	M4×6
6		6×18	6×35	M6×8
	20	6×20		
	22	6×22		
8		8×22	8×35	
	24	8×24		
	28	8×28		
10		10×28	8×40	
	30	10×30		

表 2-21　挡料销（摘自 JB/T 7649.6—2008）　　（单位：mm）



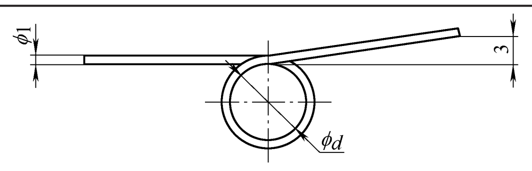


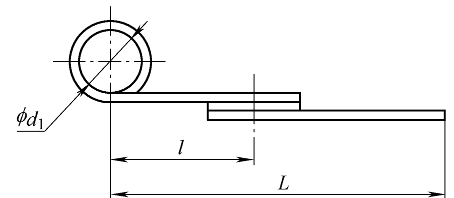
示例：$d=8$mm，$L=24$mm 的挡料销标记如下：挡料销　8×24　JB/T 7649.6—2008

<table>
<tr><th>d（d11）</th><th>L</th><th>d（d11）</th><th>L</th></tr>
<tr><td>4</td><td>18</td><td rowspan="3">8</td><td>22</td></tr>
<tr><td rowspan="4">6</td><td>18</td><td>24</td></tr>
<tr><td>20</td><td>28</td></tr>
<tr><td rowspan="2">22</td><td rowspan="2">10</td><td>28</td></tr>
<tr><td>30</td></tr>
</table>

材料：45 钢，硬度为 43～48HRC

表 2-22　扭簧（摘自 JB/T 7649.6—2008）　　（单位：mm）



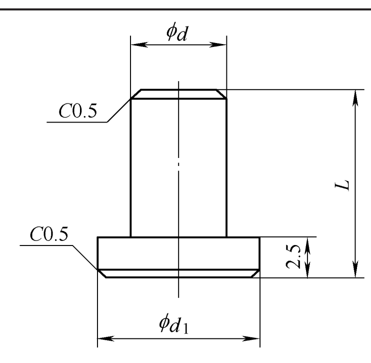


示例：$d=8$mm，$L=35$mm 的扭簧标记如下：

扭簧　8×35　JB/T 7649.6—2008

<table>
<tr><th>d</th><th>d_1</th><th>L</th><th>l</th></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td>4.5</td><td>30</td><td rowspan="2">10</td></tr>
<tr><td rowspan="3">6.5</td><td>35</td></tr>
<tr><td rowspan="2">8</td><td>35</td><td>15</td></tr>
<tr><td>40</td><td>20</td></tr>
</table>

表 2-23　活动挡料销（摘自 JB/T 7649. 9—2008）

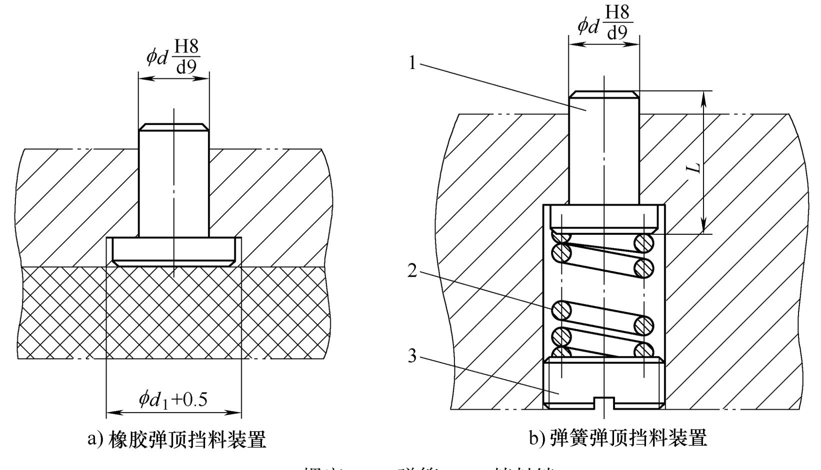


示例：$d=6$mm，$L=14$mm 的活动挡料销标记如下：

活动挡料销　6 × 14　JB/T 7649. 9—2008

d　d9	d_1	L	d　d9	d_1	L
3	6	8	6	10	14
		10			16
		12			18
		14			20
		16	8	14	10
4	8	8			16
		10			18
		12			20
		14			22
		16			24
		18	10	16	16
6	10	8			20
		12			

应用示例



a) 橡胶弹顶挡料装置　　b) 弹簧弹顶挡料装置

1—螺塞　2—弹簧　3—挡料销

2. 条料送料步距的控制

条料在送进过程中，必须控制每次送进的距离，保证每次送进的距离相等。常用的有固定挡料销（JB/T 7649. 10—2008）、始用挡料装置（JB/T 7649. 1—2008）、侧刃（JB/T 7648. 1—2008）、A 型侧刃挡板（JB/T 7648. 2—2008）和 B 型侧刃挡板（JB/T 7648. 3—2008）等。

（1）挡料销　限制条料送进距离的销叫挡料销，挡料销的常用结构见表 2-19 ~ 表 2-25。

（2）始用挡料装置　在级进模中，条料开始送进时使用的挡料装置叫始用挡料装置。

图 2-15 所示为 JB/T 7649. 1—2008 规定的始用挡料装置，一般用于工位较少用固定挡料销定距的级进模中。

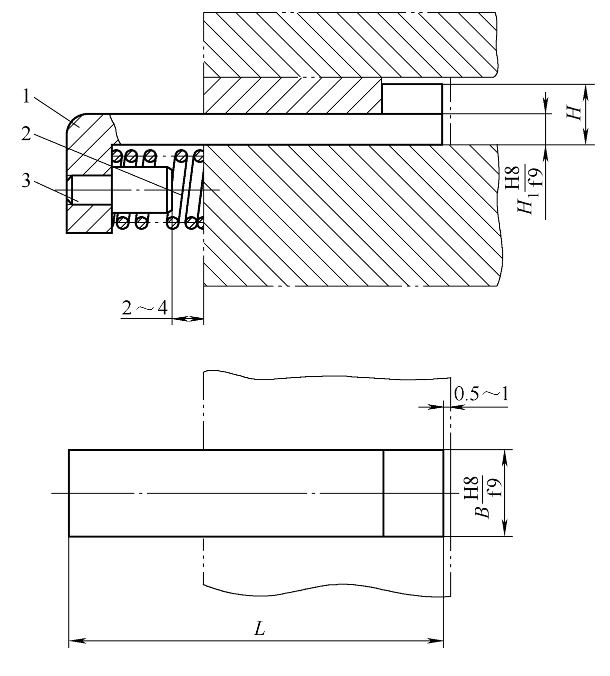
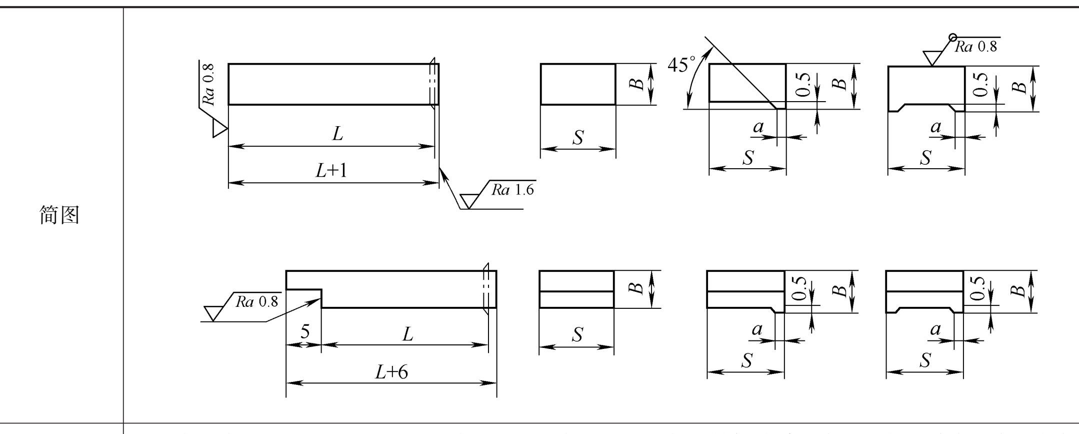


图 2-15　始用挡料装置
1—始用挡料块　2—弹簧　3—弹簧芯柱

（3）侧刃　在级进模中，为了限制条料的送料步距，在条料的一侧或两侧冲切一定形状缺口的凸模叫侧刃。表 2-24 为侧刃的应用。

表 2-24　侧刃的应用（摘自 JB/T 7648. 1—2008）

简图	
特点及应用范围	按侧刃断面形状的不同，分矩形侧刃和成形侧刃。矩形侧刃结构简单，常用于制造精度不高的制件送料定距，成形侧刃常用于精度较高的制件送料定距 按工作端面形状的不同，分为平面型侧刃和台阶形侧刃。平面型侧刃用于冲裁薄件，台阶形侧刃用于冲裁厚件。在冲裁前台阶先伸入凹模洞口导向，改善侧刃单边受力情况

侧刃断面的关键尺寸是宽度 S，S 值一般等于步距，推荐使用正负极限偏差，不使用标准 $S_{-0.02}^{\ 0}$，而使用

$$S \pm 0.01 \text{ 或 } S \pm 0.02 \tag{2-14}$$

当侧刃和导正销同时使用时，其宽度为

$$[S + (0.05 \sim 0.1)] \pm 0.01$$

或

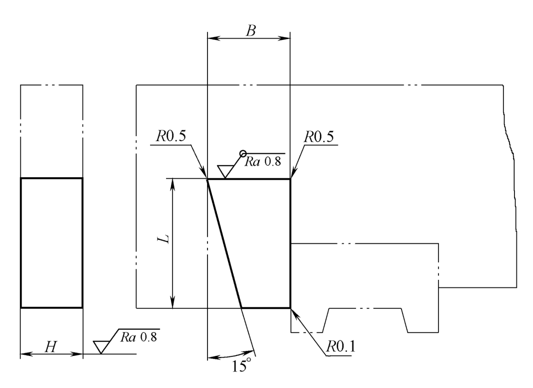
$$[S + (0.05 \sim 0.1)] \pm 0.02 \tag{2-15}$$

（4）侧刃挡块　承受条料对定距侧刃的侧压力，并起挡料定距作用的板件称为侧刃挡板。由于导料板一般采用 Q235 钢制造，若用导料板直接挡料定距，则磨损严重，定位不准，因而采用硬度高、耐磨性好的侧刃挡块。

表 2-25 为 JB/T 7648. 2—2008 规定的 A 型侧刃挡块，主要用于固定卸料板级进模中，绝不能用于弹压卸料板级进模中，以防松动发生冲压事故。

表 2-26 为 JB/T 7648. 3—2008 规定的 B 型侧刃挡板。主要用于弹压卸料板级进模中，也可用于固定卸料板级进模中。

表 2-25　A 型侧刃挡板（摘自 JB/T 7648. 2—2008 ）



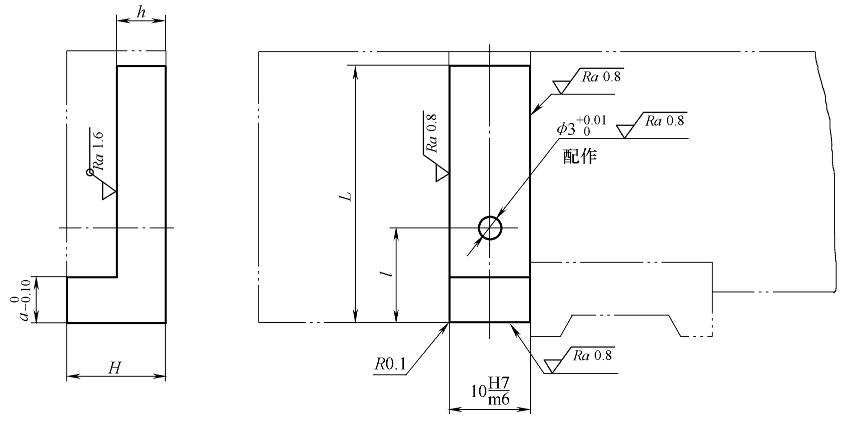
标记：L = 16mm，H = 6mm 的 A 型侧刃挡块标记如下：

A 型侧刃挡板　16 × 6　JB/T 7648. 2—2008

L	B	H
16	10	4
		6
20	12	4
		6
		8
25	16	12
		16

材料：T10A，硬度为 56 ~ 60HRC，外形和导料板配合为 H7/m6

表 2-26　B 型侧刃挡板（摘自 JB/T 7648. 3—2008 ）



示例：L = 25mm，H = 8mm 的 B 型侧刃挡块标记如下：

B 型侧刃挡块　25 × 8　JB/T 7648. 3—2008

（续）

L	H	h　h9	a	l
16	4	2	4	10
	6	3	5	
25	8	4	6	12
32	10	5		
	12	6		
40	16	8	7	15
材料：T10A，硬度为 56～60HRC				

（5）导正销　冲裁中，先进入预冲孔中，导正条料位置，保证孔与外形的相对位置，消除送料误差的销件叫导正销（表 2-27）。导正销一般用于级进模中起精定距作用，以消除送料导向及送料定距的误差，以保证制件的相互位置精度。

表 2-27　导正销（摘自 JB/T 7647—2008）

序号	简　图	特 点 及 应 用 范 围
1		装在落料凸模中的导正销，结构简单、制造方便，适用于普通冲孔落料级进模，冲孔直径一般为 5～16mm
2		装在落料凸模中的导正销，适用于普通冲孔落料级进模，冲孔直径一般为 2～12mm。装在凸模固定板或卸料板中的导正销，一般用于在卷料冲导正销孔的冲裁、弯曲成形等多工位级进模及精密复杂的冲裁类级进模中，导正孔的直径一般为 1.5～6mm
3		装在落料凸模上的导正销，拆卸方便，用于孔径为 4～12mm 的普通冲孔落料级进模
4		装在落料凸模上的导正销，拆卸方便，用于孔径 12～50mm 的普通冲孔落料级进模中

为了使导正销工作可靠，避免折断，导正销的直径一般应大于 1.5mm。

导正销的工作部分由圆柱导正部分和圆锥导入部分组成。导正部分的直径部分高度按表 2-29 选用，也可按图 2-16 选用，导正部分的直径按下式计算

$$d = d_p - a \tag{2-16}$$

式中　d——导正销公称尺寸（mm）；

d_p——冲孔凸模的公称尺寸（mm）；

a——导正销与冲孔凸模直径的差值（mm），见表2-28。

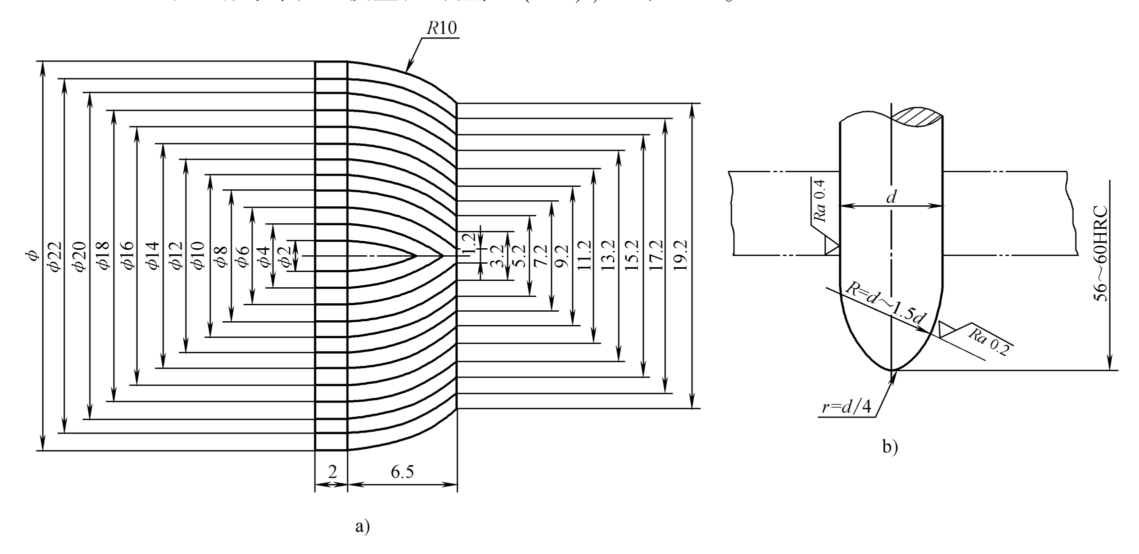


图2-16　导正销头部形状

a）R型导正销头部形状　b）常用的弧形导正销

表2-28　导正销直径与冲孔凸模直径的差值 *a*　（单位：mm）

材料厚度 t	冲孔凸模直径 d_p						
	2～6	>6～10	>10～16	>16～24	>24～32	>32～42	>42～50
≤1.5	0.04	0.06	0.06	0.08	0.09	0.10	0.12
>1.5～3.0	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16
>3.0～5.0	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.18	0.20

表2-29　导正销圆柱部分高度 *h*　（单位：mm）

材料厚度 t	冲孔直径		
	2～10	>10～25	>25～50
≤1.5	t	$1.2t$	$1.5t$
>1.5～3.0	$0.6t$	$0.8t$	t
>3.0～5.0	$0.5t$	$0.6t$	$0.8t$

在普通冲裁类级进模中，由于导正销常和挡料销配合使用，挡料销的位置必须保证导正过程中条料有活动可能，挡料销与导料销的位置关系如图2-17所示。

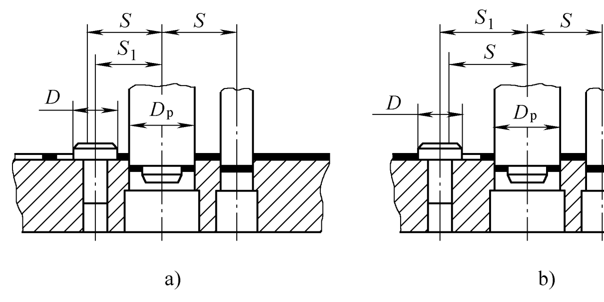


图2-17　挡料销与导料销的位置关系

按图2-17a所示方式定距，挡料销与导料销的中心距为

$$S_1 = S - \frac{D_p}{2} + \frac{D}{2} + 0.1 \tag{2-17}$$

按图2-17b所示方式定距，挡料销与导料销的中心距为

$$S_1 = S + \frac{D_p}{2} - \frac{D}{2} - 0.1 \tag{2-18}$$

式中　S——步距（mm）；

D_p——落料凸模直径（mm）；

D——挡料销头部直径（mm）；

S_1——挡料销与凹模的中心距（mm）。

3. 卷料送料方向的控制

条料冲压大多数为带自动送料装置的自动化冲压，除少数落料模和冲裁类级进模外，大多数为带弯曲、拉深、成形等多工序多工位立体式冲压级进模。为保证卷料送料通畅，卷料必须浮离凹模平面一定高度才能顺利送料。卷料的导料方式一般有三种。

（1）两侧带台式导料板导料

图 2-18a 所示为两侧带台式导料板导料，一般用于带弯曲、拉深成形等多工序多工位立体式冲压双侧载体和中间载体的级进模，由于是立体式冲压，卷料必须浮离凹模平面一定高度，因而导料板必须与托料销、弹顶销或弹顶块配合使用。

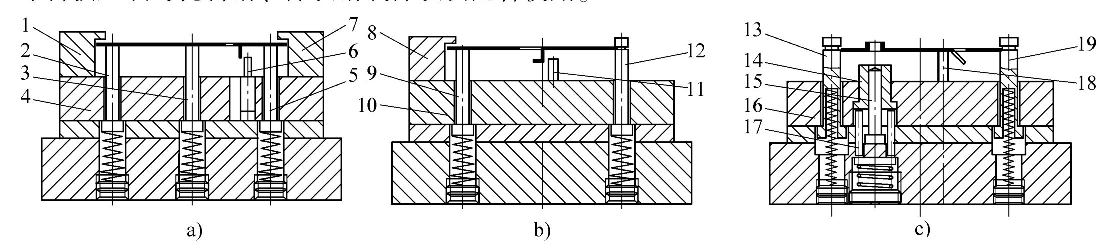


图 2-18　卷料导料的三种结构形式

1、7、8—导料板　2、3、5、9—抬料销　4、10、16—凹模　6、11、17、18—弹顶销　12、13、19—浮动导料销　14—翻边弹顶器　15—翻边凸模

带台式导料板的尺寸参数如图 2-19 所示，带台高度 H 为

$$H = H_0 + (0.5 \sim 2)t + (1 \sim 5) \tag{2-19}$$

式中　H_0——制件最大成形高度（mm）；

t——材料厚度（mm）。

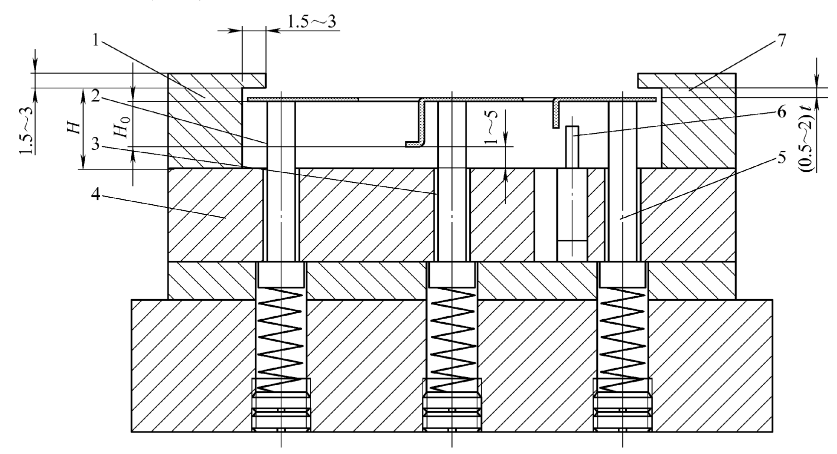


图 2-19　带台导料板的尺寸参数

1、7—导料板　2、3、5—抬料销　4—凹模　6—弹顶销

1）抬料销。在立体式冲压级进模中，为保证卷料送料顺畅，将卷料托起浮离凹模表面的销

叫抬料销。抬料销的形式如图 2-20 所示，抬料销的尺寸参数见表 2-30。图 2-20a 所示为小直径球头抬料销及弹顶销，图 2-20c 为平端面抬料销及弹顶销，它们是最常用的较大直径托料销及弹顶销。图 2-20d 所示为套式抬料销，设置在与导正销相对应的位置，它不但起到抬料作用，也保护了导正销。抬料销与凹模配合为 H7/h6 或 H7/h5。

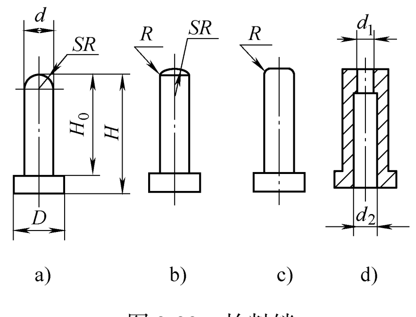


图 2-20　抬料销

2）弹顶销或弹顶块。在立体冲压级进模中，为了使弯曲、成形等能顺利进行，必须使材料在压紧状态下成形，在成形后需要将成形部分顶起的销叫弹顶销，块叫弹顶块，弹顶销的结构形式同抬料销。

表 2-30　抬料销尺寸　　（单位：mm）

代 号	尺 寸										
d	1.5	2	2.5	3.5	4.5	6	8	9	10	12	14
d_1			1	1.5	2.5	4	5	6	7	8	10
D	4	5	5	6	6	8	10	12	13	15	17
d_2			$d_1+0.5$			$d_1+0.8$			$d_1+1.2$		
螺塞外径	M6	M8	M8	M8	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20

（2）一侧带台导料板，另一侧为浮动导料销导料。图 2-18b 为一侧带台导料板，另一侧为浮动导料销导料，也是立体冲压级进模中常用的结构形式，特别适宜采用一侧为成形侧刃定距的级进模。

（3）浮动导料销导料。图 2-18c 为卷料两侧采用浮动导料销导料，是立体冲压级进模中常用的导料结构形式。浮动导料销与凹模的配合为 H7/h6 或 H7/h5。浮动导料销的结构形式如图 2-22

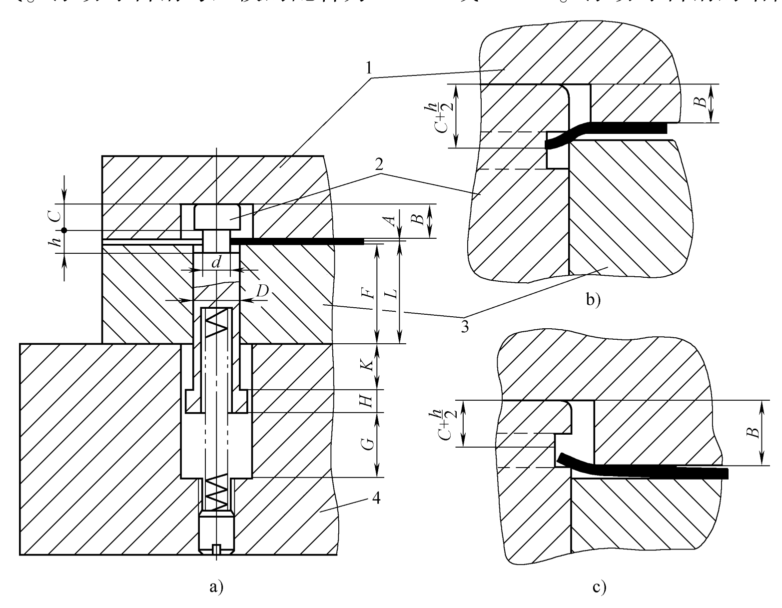


图 2-21　浮动导料销与卸料沉孔深度关系

A—卸料板底平面至导料槽中心距离　*B*—卸料板沉孔深度　*C*—浮动导料销头部高度

K—浮动导料销活动量　*L*—凹模厚度 + $t/2$　*F*—凹模厚度　*G*—浮动导料销距沉孔底面最小值

H—浮动导料销台阶厚度，可取 2～4mm　*h*—浮动导料销导向槽宽度

D—浮动导料销直径　*d*—导料槽部分直径

1—卸料板　2—导料销　3—凹模　4—下模座

所示，浮动导料销的送料导向是间歇性点接触，所以对卷料的宽度精度和两侧的平面度要求较高，否则会使送料产生较大误差。此外，卸料板上的对应沉孔深度与浮动导料销头部有关尺寸要相适应，如图 2-21 所示。图 2-21a 所示为正常工作状态下的有关尺寸关系，图 2-21b 所示的卸料板沉孔太浅，将卷料边缘向下弯曲，图 2-21c 所示的卸料板沉孔太深，使卷料边缘向上弯曲。

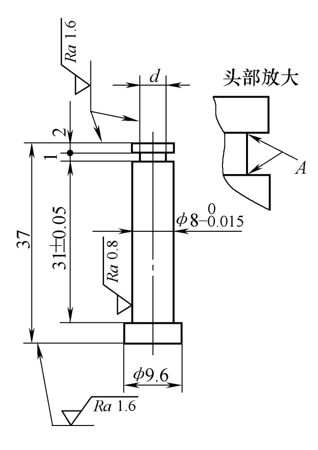


图 2-22　浮动导料销设计示例

浮动导料销有关尺寸可按下式计算

槽宽　$h = t + (0.6 \sim 1)$

槽深　$(D - d)/2 = (3 \sim 5)t$

销头高　$C = (1.5 \sim 3)$

卸料板沉孔深　$B = C + (0.3 \sim 0.5)$

导料销活动量　K = 制件最大高度 + (1.3 ~ 3.5)

尺寸 d 和 D 可根据条料的宽度、厚度和模具结构确定。

浮动导料销设计示例如图 2-22 所示，它是用于宽度为 30mm、材料厚度为 0.3mm 的 Q235 钢条料的导向。导料槽槽底要清角，如头部放大箭头所指 A 处。

4. 卷料送料步距的控制

采用卷料冲压大多数为带自动送料装置的自动化冲压，即在压力机上配有自动送料装置。作为压力机的一种辅助机构而独立存在。装在压力机上的冲模依赖于压力机滑块的上下往复运动，经一定机构的传动，使送料装置带动卷料作定时、定量的沿一定方向送进。目前广泛采用的自动送料装置的主要结构形式有机械结构的辊轴式和气动控制的夹持式送料装置。它主要用于自动送料时的粗定位，再靠导正销做精定位。

(1) 气动夹板式自动送料装置　气动夹板式自动送料装置是国内外常用的一种自动送料装置，它利用固定钳与移动钳夹持卷料做松开—压紧—松开的循环动作，通过夹紧力进行送料。送料精度比辊轴式送料装置高。该机构有推式和拉式两种结构。图 2-23 所示为采用直动控制阀推式气动夹板式自动送料装置的结构示意图。它的最大特点是动作灵敏轻便，调整方便，送料精度高，步距精度可达 ±0.02mm，经导正销精定位后可达 ±0.003mm。

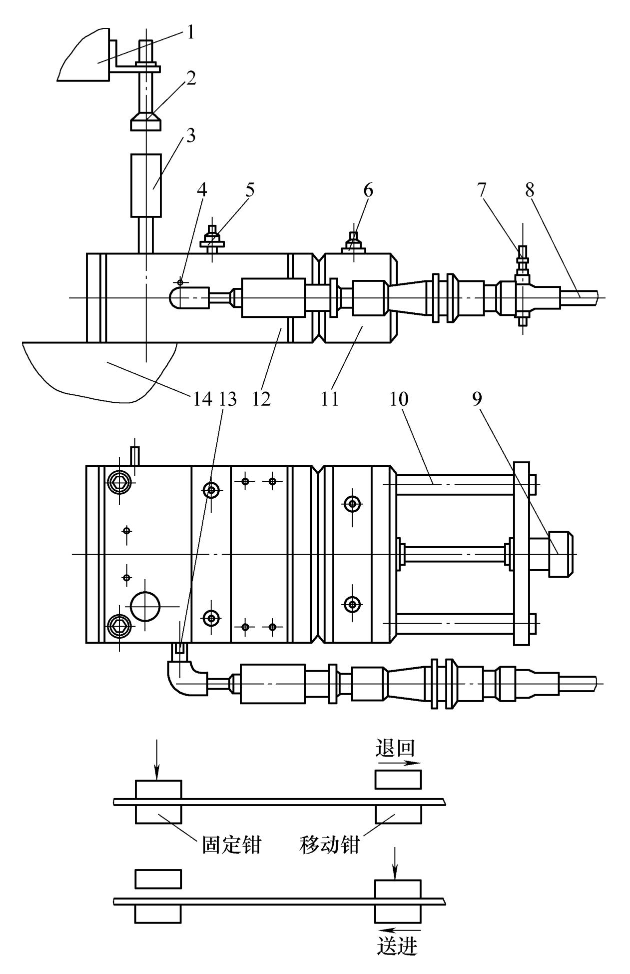


图 2-23　气动夹板式自动送料装置

1—上模座或滑块　2—推杆　3—导向阀　4、13—排气孔　5—固定钳　6—移动钳　7—导轮　8—连接器　9—调节装置　10—导杆　11—移动夹紧体　12—送料器体　14—下模座

表2-31为日本双叶公司制造的推式送料装置规格。

（2）辊轴式自动送料装置 辊轴式自动送料装置是利用辊轴与卷料之间的摩擦力实现送料的，特点是通用性强，适用范围广，卷料宽度为10～1300mm，厚度为0.1～8mm，送料步距为10～2500mm。送料步距精度为±0.05mm，经导正销导正后可达±0.003mm，辊轴式送料的驱动方式有凸轴传动和棘轮传动两种。凸轮驱动辊轴送料可实现高速自动化冲压，棘轮传动压力机的转速不宜太高。图2-24所示为辊轴式自动送料装置。

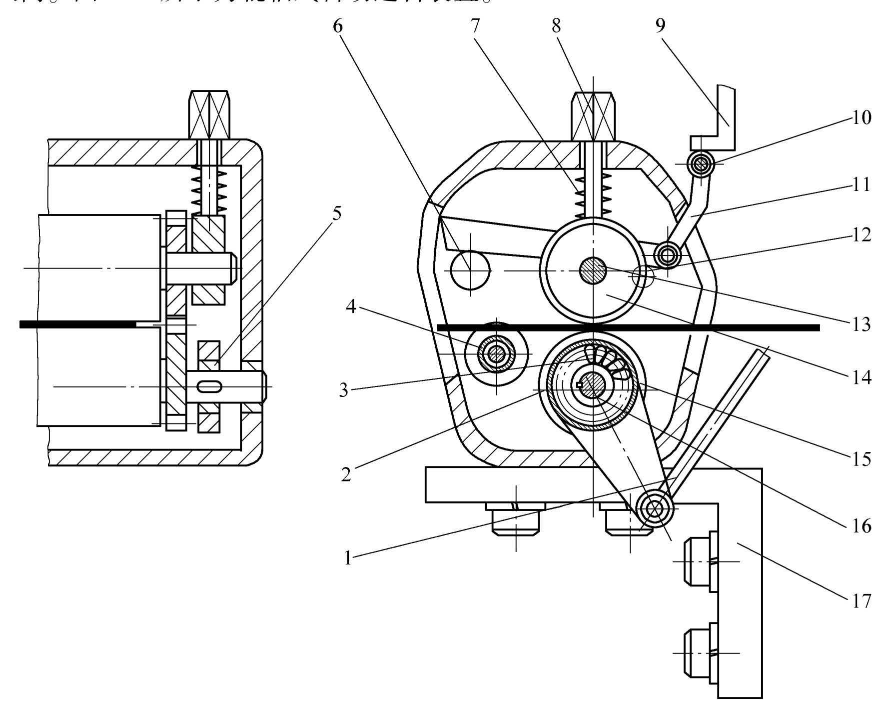


图2-24 辊轴式自动送料装置

1—连杆 2—超越离合器外轮 3—异形滚子 4—导料轮 5—制动圈 6—限位轴 7—弹簧 8—调节杆 9—压块 10—滚轮 11—摇臂杠杆 12、13、16—轴 14—上辊 15—下辊 17—工作台

表2-31 日本双叶公司制造的推式送料装置规格

送料装置型号	AF—1C	AF—2C	AF—3C	AF—4D	AF—5D	AF—6D	AF—6S
最大送料宽度 B/mm	38	65	80	100	150	200	250
最大送料宽度时的材料厚度 t/mm	0.8	1.0	1.2	1.5	1.6	1.5	1.2
所夹材料的最大厚度 t/mm	0.8	1.0	1.2	1.5	2	2	2
最大送料长度 L/mm	50	78	78	130	150	200	200
使用空气压力 P/MPa	0.4～0.5	0.4～0.5	0.4～0.5	0.4～0.5	0.4～0.5	0.4～0.5	0.4～0.5
固定夹紧力（0.4MPa） F'/N	160	215	215	375	630	630	630
活动夹紧力（0.4 MPa） F''/N	215	340	395	675	1060	1200	1200
拉力（0.4 MPa） F/N	88	130	200	200	245	245	245
最大送料长度时的滑块每分钟行程数	200	160	150	100	80	70	60
最高行程、最大送料长度时的空气消耗量(0.4 MPa) V/(L/min)	27	47	70	70	100	100	100
送料器质量 m/kg	6.5	8.5	10	16	38	46	51

（3）卷料冲压常用导正销的头部形式（表2-32）

（4）卷料冲压常用导正销的安装方法（表2-33）

（5）卷料冲压常用导正销的尺寸参数（表 2-34）

表 2-32　卷料冲压常用导正销的头部形式

形式	图示	应用
抛物线形	$r=0.25\sim0.3d$ $R=1.5\sim2d$ d	通用形，适用于孔径为 2 ~ 26mm 的孔的导正
锥形	$\alpha=20^\circ\sim30^\circ$ d	适用于孔径为 2 ~ 3mm、材料厚度小于 0.5mm 的小孔的导正

表 2-33　卷料冲压常用导正销的安装方法

序号	图 示	特 点 及 应 用
1	h	固定在凸模固定板上的标准形导正销，是通用型的导正销
2	h	固定部分和工作部分的尺寸一致，加工方便，是通用型的导正销
3	h	固定在凸模固定板上，用螺母和顶柱压牢，安装、维修、刃磨、更换方便，适合于高效率、高精度、高寿命的三高级进模
4	h	插入活动式，定位、安装、维修、刃磨、更换方便，且不易损坏。适合于高效率、高精度、高寿命的三高级进模
5	h	插入卸料板中的导正销。导正销的长度大为缩短，增加了强度和刚度，导入材料深度不变，适用于成形凸模进入凹模深度较大的级进模
6	h	插入卸料板中的活动导正销。特点与上一种类似，但不易损坏

表 2-34　卷料冲压常用导正销的尺寸参数　（单位：mm）

简图	尺寸参数								
	d	d_1	D	R	H	A	B	C	L
	1.6~6	4~10	d_1+3	<0.5	2.5~4	3~5	10~20	2~3	25~50

5. 毛坯或工序件的定位

在冷冲压工艺中，常用的材料有条料、卷料、毛坯或工序件，落料模、复合模、级进模、落料拉深复合模可冲压加工出零件直接使用，有的也可作为冲孔、弯曲、拉深、成形、冷挤压制件的毛坯或工序件使用。这些毛坯或工序件的定位常采用定位板、定位销或利用凹模兼作定位零件。其定位方式及应用见表 2-35。

表 2-35　毛坯或工序件的定位

序号	简图	特点及应用范围
1	定位板	利用毛坯两端外形定位，常用于冲孔模、弯曲模、成形模
2	定位板	利用毛坯一端外形定位，常用于狭长制件的冲孔模、弯曲模、成形模
3	定位板	利用毛坯的外圆定位，常用于冲孔模、拉深模、翻边模

（续）

序号	简 图	特 点 及 应 用 范 围
4	定位板	利用拉伸件的外圆定位，常用于冲孔模、翻边模
5	定位销	利用毛坯上的孔定位，常用于弯曲模、成形模
6	定位销	利用拉深件内孔定位，用于修边模、凸缘冲孔模
7	定位销	利用毛坯外形定位，用于冲孔模、弯曲模、成形模
8	凹模外型	利用拉深件内孔定位，用于冲孔模、翻边模
9	凹模内型	利用凹模内型定位，用于冷挤压模

（续）

序号	简 图	特 点 及 应 用 范 围
10	 定位板、定位销	利用毛坯外形和孔定位，常用于弯曲模

四、卸料装置

从广义上讲，卸料装置包括卸料、推件和顶件装置。其作用是当冲模完成一次冲压行程之后，把条料、卷料、制件、工序件或废料从凸模上卸下或从凹模中推出或顶出，以便冲压工作继续进行。

1. 冲裁模的卸料装置

（1）落料模和冲裁类级进模的卸料装置　落料模和冲裁类级进模常用的卸料装置有弹压卸料装置（图 2-26a）和固定卸料装置（图 2-25a），目的是从凸模上卸下条料。弹压卸料装置装在上模上，用于冲裁卸料力较小的 1.5mm 以下的薄料；固定卸料装置装在下模上，用于冲裁卸料力较大的 1.5mm 以上的厚料。当采用大间隙冲裁时，卸料力较小，也可采用弹压卸料装置。由于弹压卸料装置工作面外露，便于观察使用情况，故应优先选用。

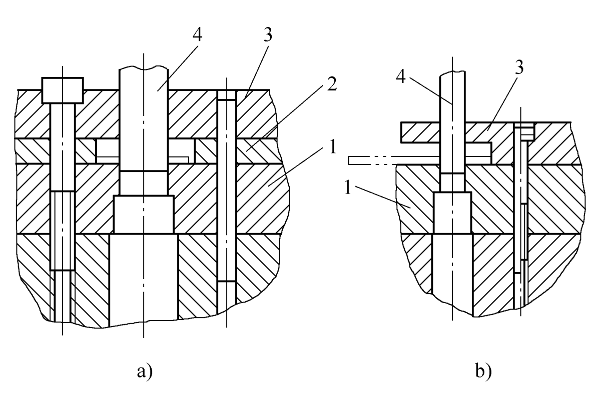


图 2-25　固定卸料装置

1—凹模　2—导料板　3—卸料板　4—凸模

（2）冲孔模的卸料装置　在冲孔模中，常用的卸料装置有弹压卸料装置（图 2-26c）、固定卸料装置（图 2-25b）和半固定卸料装置（图 2-27），冲孔模的卸料装置是从凸模上卸下制件。

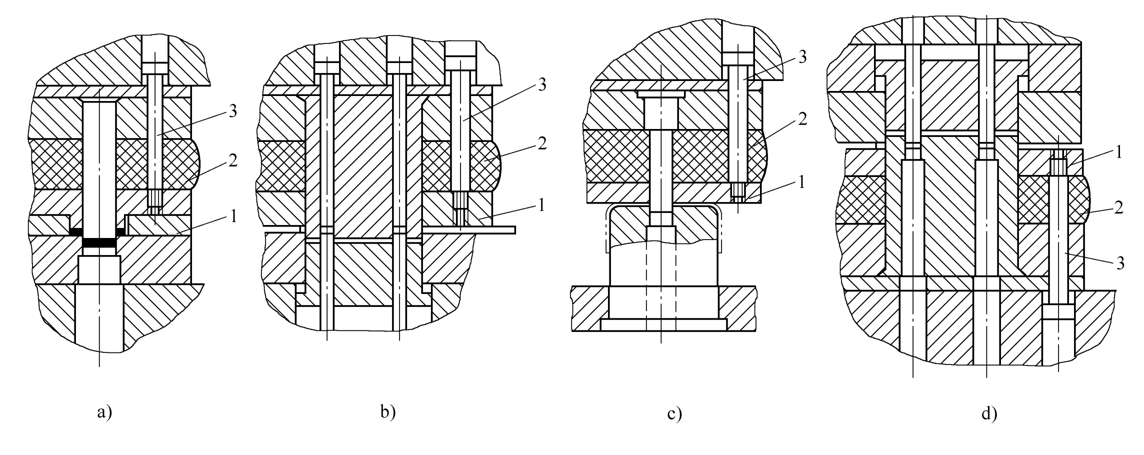


图 2-26　弹压卸料装置

1—弹压卸料板　2—橡胶　3—弹压螺钉

（3）复合模的卸料装置　复合模的卸料装置只有弹压卸料装置，目的是从凸凹模上卸下条

料（图 2-26b、d），顺装复合模的卸料装置装在上模上，倒装复合模的卸料装置装在下模上。

固定卸料板与凸模配合的间隙按表 2-36 选取，弹压卸料板与凸模配合的间隙按表 2-37 选取。当冲裁材料较薄，精度要求较高，要求弹压卸料板与凸模有良好导向时，其双面间隙大小可根据情况，在下列四个范围内选用：0.005 ~ 0.01mm、0.01 ~ 0.02mm、0.02 ~ 0.03mm、0.03 ~ 0.04mm。

表 2-36　固定卸料板与凸模配合的间隙

（单位：mm）

材料厚度 t	双面间隙 z
≤ 1	<0.4
>1 ~3	<0.6
>3	<1

表 2-37　弹压卸料板与凸模配合的间隙

（单位：mm）

材料厚度 t	双面间隙 z
≤ 0.5	<0.1
>0.5 ~3	<0.2
>1	<0.3

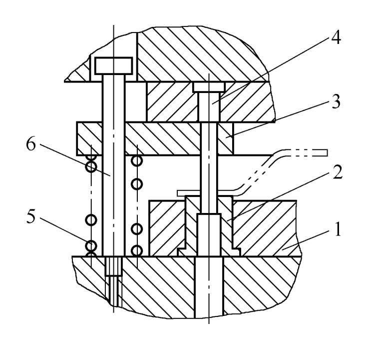


图 2-27　半固定卸料装置

1—凹模固定板　2—凹模镶件　3—卸料板　4—凸模　5—弹簧　6—弹压螺钉

2. 自动送料级进模的卸料装置

由于自动送料级进模大多为带弯曲、拉深、成形多工序多工位的立体冲压，所以卸料装置不但要起卸料作用，还要起压料、导向、保护凸模的作用。卸料装置在自动送料级进模中主要采用弹压卸料板或局部配以悬臂式固定卸料板和顶件块及推件杆的结构形式。

（1）悬臂式固定卸料板　自动送料级进模中常采用局部悬臂式固定卸料板将弯曲、成形等工序件从凸模上卸下，如图 2-28 和图 2-29 所示。为将卸料板直接固定在凹模上的卸料装置，图 2-30 所示为将卸料板固定在导料板上的卸料装置。从中看出，它们还装有将弯曲、成形等工序件从凹模中顶出的顶件块。

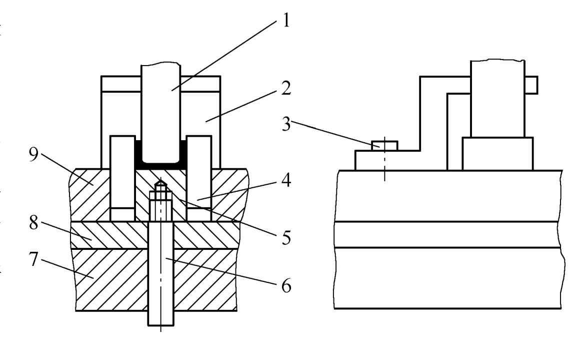


图 2-28　悬臂式固定卸料板（一）

1—弯曲凸模　2—悬臂固定式固定卸料板　3—螺钉　4—凹模镶块　5—顶件块　6—弹压螺钉　7—下模座　8—垫板　9—凹模

（2）顶件块和推件杆　自动送料级进模中除采用弹压卸料板卸料和局部悬臂式固定卸料板卸工序件外，还必须采用顶件块和推件杆将工序件从凹模中顶出和凸模中推下，如图 2-31 和图 2-32 所示为将工序件从凹模中顶出和凸模中推下的卸料装置。

（3）弹压卸料板　自动送料级进模中，弹压卸料板主要采用的形式有整体式（图 2-33 和图 2-34）、整体式镶拼结构（图 2-35）和模块式组合结构（图 2-36 和图 2-37）等形式。

为了保证卸料板、凸模固定板、凹模型孔位置不仅在加工时保证一致，而且保证装配后的一致性，凸模有良好的导向，严格控制卸料板的位移和倾斜，卸料板上下运动灵活平稳，常在卸料板、凸模固定板、凹模之间采用小导柱及小导套导向（图 2-38）。

整体式卸料板由于结构简单紧凑，尤其适合热处理后线切割加工，使加工装配方便而被广泛

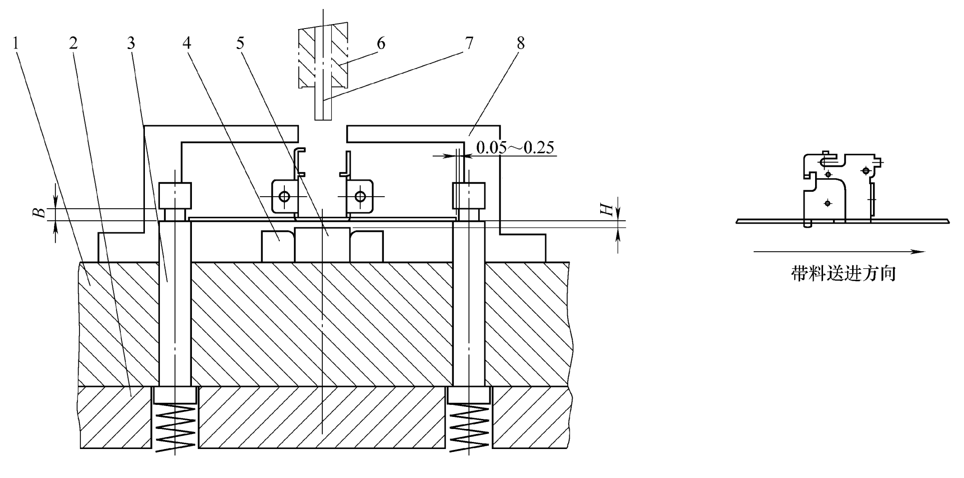


图 2-29　悬臂式固定卸料板（二）

1—凹模　2—垫板　3—浮动导料销　4—弯曲凹模镶块　5—顶件块　6—弯曲凸模　7—原构思方案采用弯曲后推杆结构形式　8—现采用的悬臂式固定卸料板

采用，如图 2-33 所示。主要应用于浮动导料销送料的级进模中，图 2-34 所示结构主要应用于卷料两侧有导料板导向的级进模中，图 2-35 所示结构主要应用于当凹模采用镶块结构时，卸料板亦采用镶块结构，主要用于精密、复杂、生产量大的级进模。图 2-36 所示为模块式结构，其拼合面应和凹模一致，图 2-37 所示模块式结构的拼合面应和凹模一致，主要用于模块面积较大的级进模，模块式结构主要用于精密、复杂、生产量大的级进模。

（4）卸料板与上模座的连接　在自动送料级进模中，为了保证凸模有良好的导向，保证卸料板能灵活平稳运行，卸料板与上模座的连接也不同于如图 2-26 所示的普通冲模结构形式，常用的形式有：

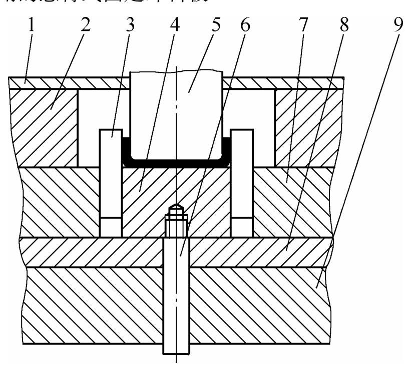


图 2-30　悬臂式固定卸料板（三）

1、9—固定卸料板　2—导料板　3—凹模镶块　4—顶件块　5—压弯凸模　6—弹压螺钉　7—凹模　8—垫板

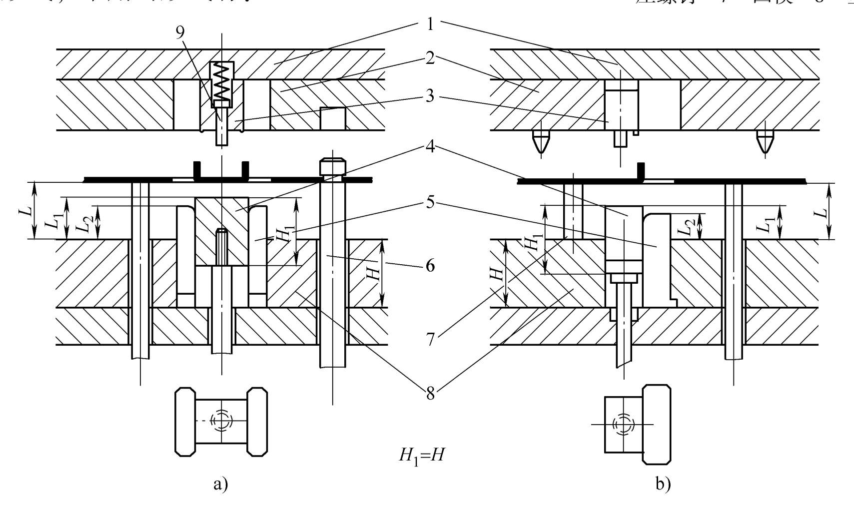


图 2-31　顶件块和推件杆（一）

1—卸料板垫板　2—卸料板　3—卸料板内压弯镶块　4—顶件块　5—凹模内压弯镶块　6—浮动导料销　7—托料销　8—凹模　9—推件杆

图 2-39 所示为螺杆和螺钉组合结构，其特点是螺杆的长度 L 可以通过磨削加工，保证各件长度一致，同时在刃磨凸模时，可同时磨去螺杆底部尺寸，保证原有位置不变。

图 2-40 所示为套管、垫圈和螺钉组合结构，多个套管可放在一起磨削长度 L，所以一致性容易保证，是自动送料级进模常用的方法之一。

图 2-41 所示为套管和螺钉组合结构，尺寸 L 同样容易保证，是自动送料级进模常用的方法之一。

3. 推件装置

（1）推件装置　顺装复合模的推件装置（图 2-42a）主要是从冲孔凹模中推出冲孔废料，由推杆、推板、推件杆组成。而倒装复合模的推件装置（图 2-42b）主要是从落料凹模和冲孔凸模上推下制件，由推杆、顶板、顶杆和推件块组成。为使推力均匀，顶杆布置必须均匀，长短一致。

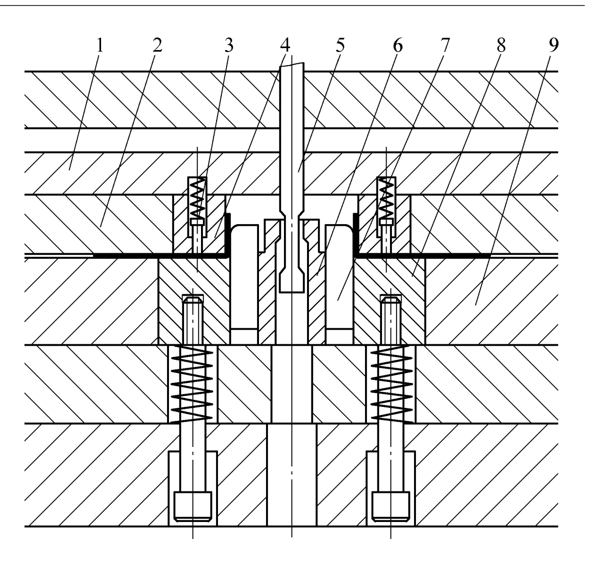


图 2-32　顶件块和推件杆（二）

1—卸料板垫板　2—卸料板　3—推件杆　4—卸料板内压弯镶块　5—切断凸模　6—切断凹模镶块　7—压弯凸模　8—顶件块　9—凹模

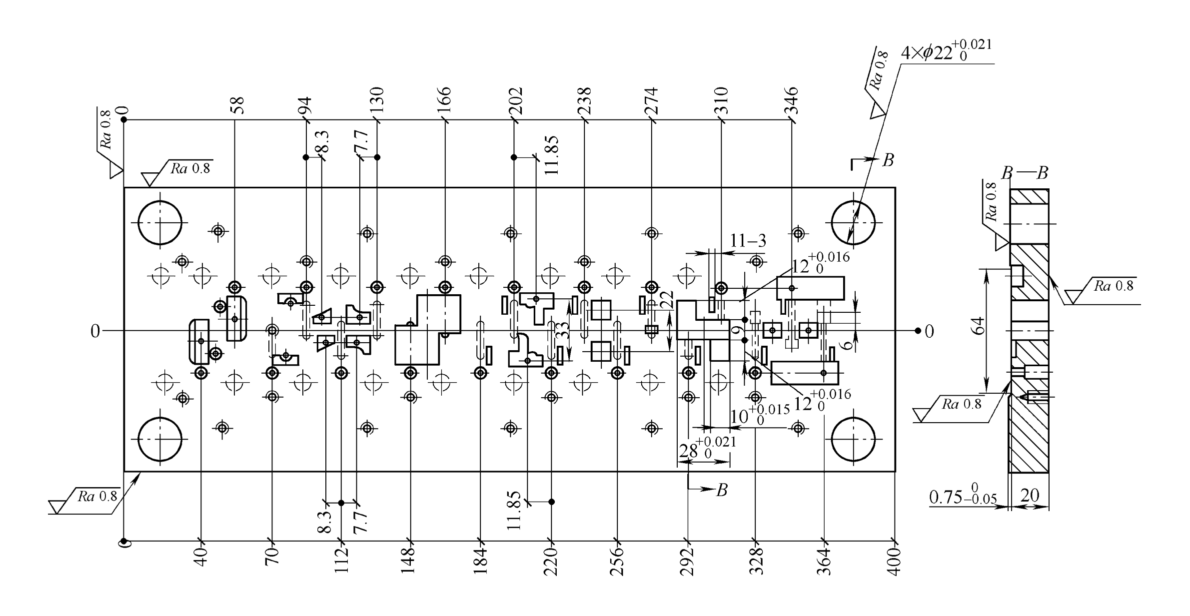


图 2-33　整体式卸料板（一）

推杆、顶板、顶杆和其他零件的配合尺寸关系如图 2-43 所示。

（2）推件块和推件杆　将制件或废料从装在上模的凹模中推出的块状零件叫推件块，杆件零件叫推件杆。

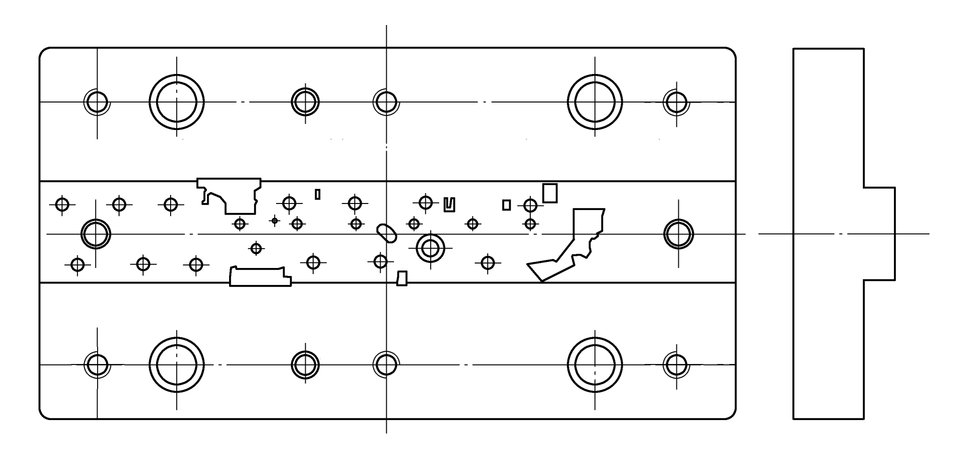


图 2-34　整体式卸料板（二）

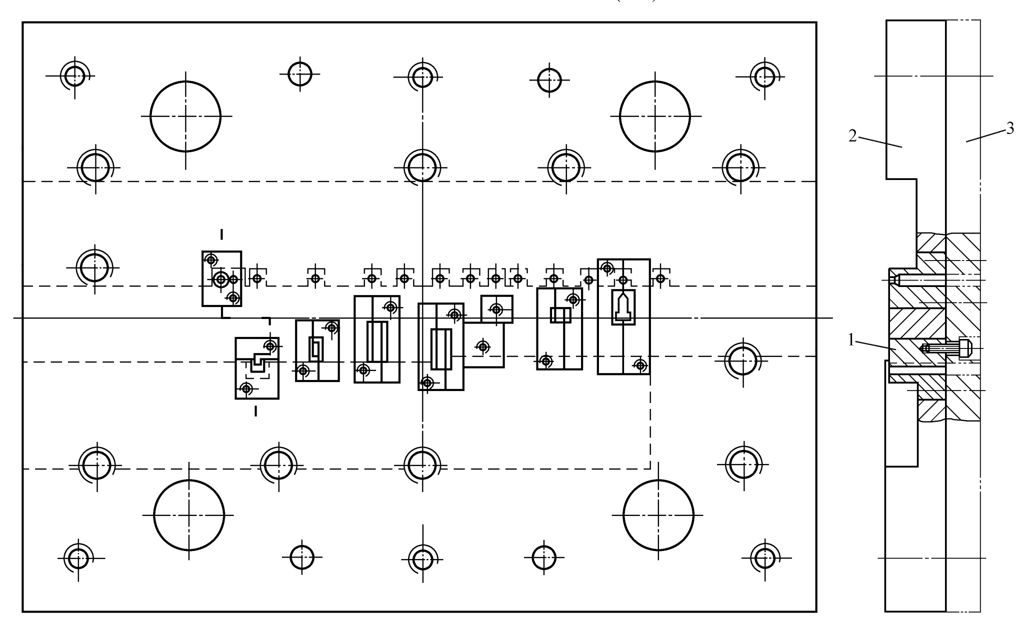


图 2-35　整体式镶拼结构

1—卸料板镶件　2—卸料板　3— 卸料板垫板

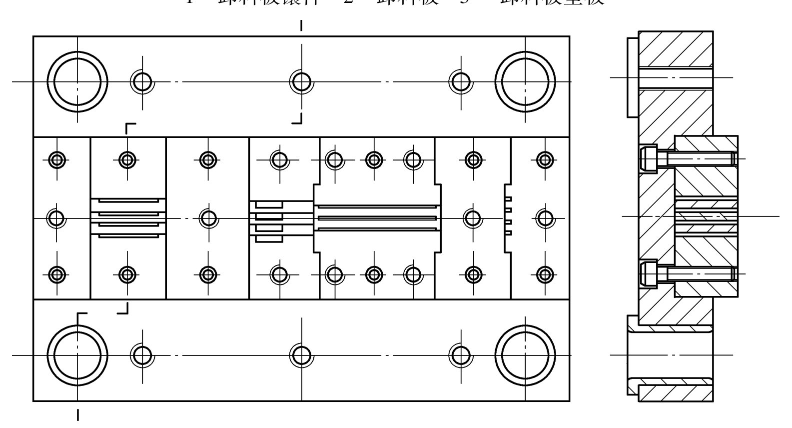
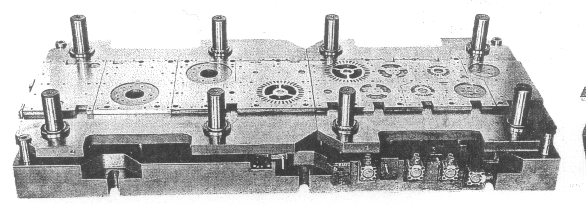
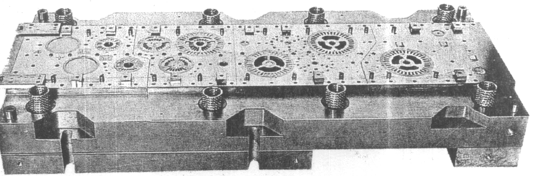
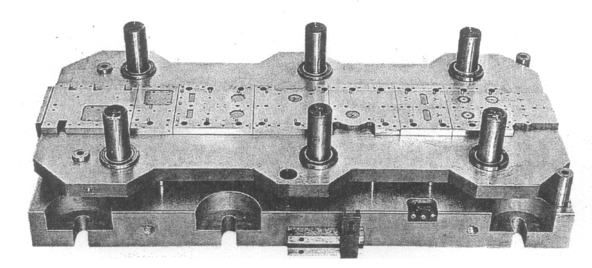
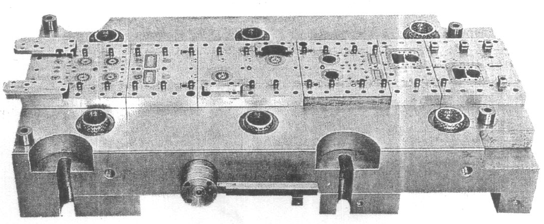


图 2-36　模块式结构（一）

a)

b)

图 2-37　模块式结构（二）

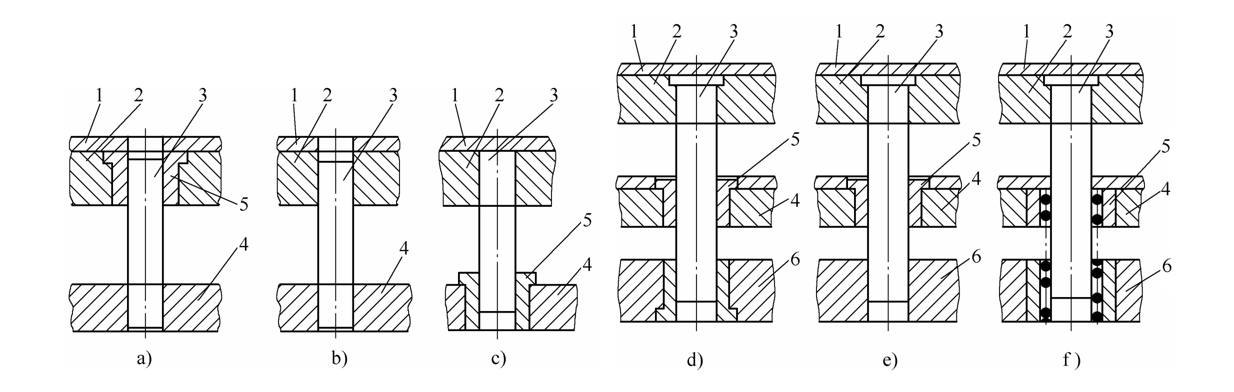


图 2-38　卸料板导向结构

1—垫板　2—凸模固定板　3—小导柱　4—卸料板　5—小导套　6—凹模

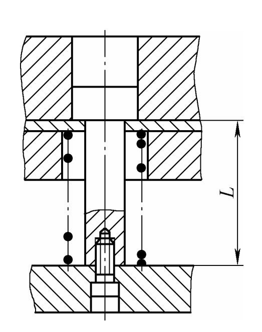


图 2-39　卸料板与上模座的连接（一）

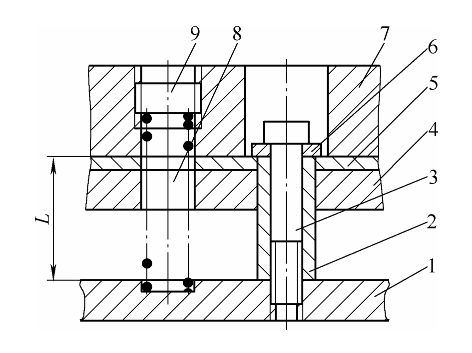


图 2-40　卸料板与上模座的连接（二）

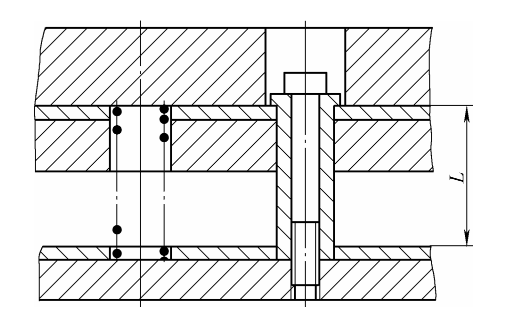


图 2-41　卸料板与上模座的连接（三）

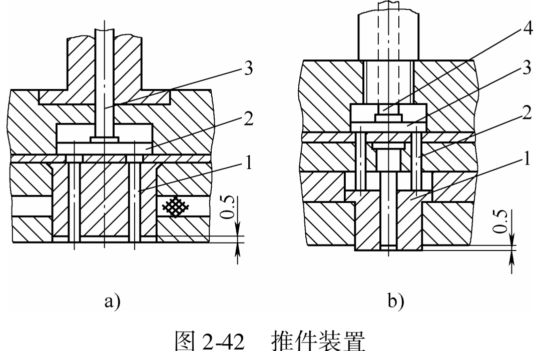


图 2-42　推件装置
a）1—推件　2—顶板　3—推杆
b）1—推件块　2—顶杆　3—顶板　4—推杆

推件块与落料凹模及冲孔凸模配合，当推件块以内孔导向时，其型孔与凸模的配合（H9/h6）间隙大小按表 2-38 选取，外形与凹模配合（H7/h12）间隙大小按表 2-39 选取。

表 2-38　推件块与凸模或凹模的配合

（单位：mm）

大多数公称尺寸	双 面 间 隙
≤30	<0.025
>30 ~ 80	<0.035
>80 ~ 180	<0.040
>180 ~ 315	<0.060

表 2-39　推件块、推件杆与凸模或凹模的配合　（单位：mm）

大多数公称尺寸	双 面 间 隙
≤30	<0.1
>30 ~ 80	<0.15
>80 ~ 180	<0.20
>180 ~ 315	<0.25

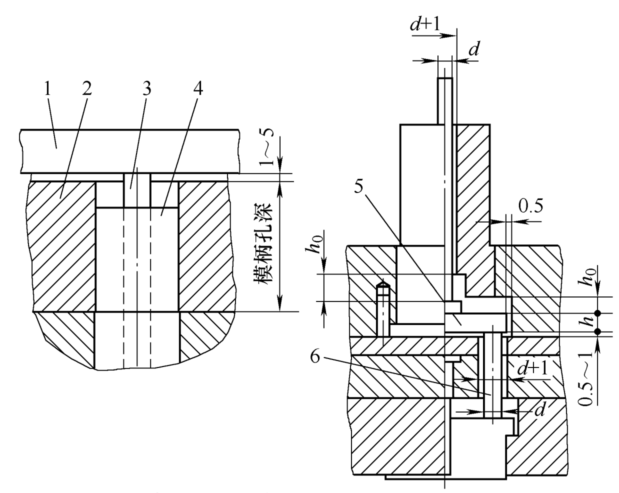


图 2-43　推杆、顶板和顶杆的配合
1—横闩　2—压力机滑块　3—推杆
4—模柄　5—顶板　6—推杆

标记示例：

型孔按凸模配作，双面间隙小于 0.035mm。

外形按凹模配作，双面间隙小于 0.2mm。

当推件块以外形导向时，其型孔与凸模的配合（H7/h12）间隙大小按表 2-39 选取，外形与凹模配合（H9/h6）间隙大小按表 2-38 选取。

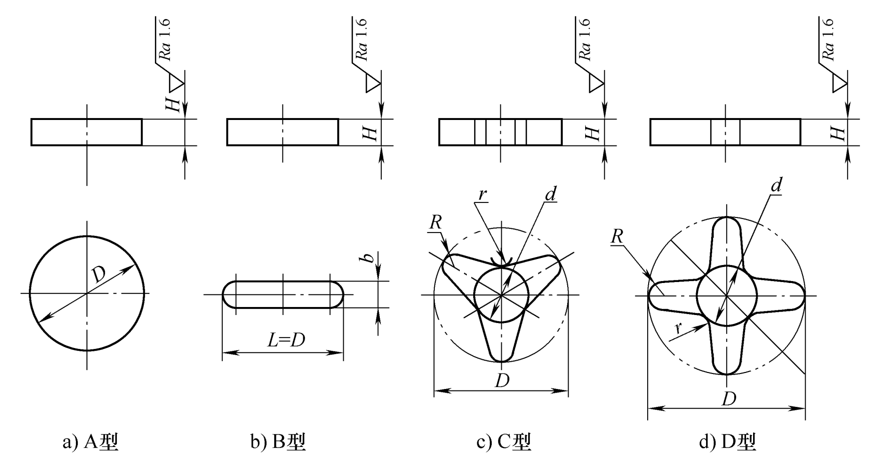
（3）顶杆　顶杆是连接顶板与推件块，传递推力的杆件（图 2-42b），一般取 2 ~ 4 根，长度必须一致。

（4）顶板　顶板是推杆与顶杆间传递推力的板件。表 2-40 为 JB/T 7650.4—2008 规定的顶板。在倒装复合模中，为了保证冲孔凸模的支承刚度和强度，顶板的平面形状和尺寸只要能覆盖到顶杆，保证本身有足够的强度和刚度即可，不必设计得太大，以保证安装顶板孔不至于太大。

A 型常用于顺装复合模制件孔较多的情况，这时必须用凸缘模柄或旋入式模柄。

B、C、D 型常用于倒装及顺装复合模，可采用压入式模柄，但要保证在模柄中开槽时不影

表 2-40　顶板（摘自 JB/T 7650.4—2008）　　（单位：mm）



示例：$D=40$mm 的 A 型顶板标记如下：

顶板　A　40　JB/T 7650.4—2008

<table>
<tr><th>D</th><th>d</th><th>R</th><th>r</th><th>H</th><th>b</th></tr>
<tr><td>20</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td rowspan="2">4</td><td rowspan="4">8</td></tr>
<tr><td>25</td><td>15</td><td rowspan="3">4</td><td rowspan="3">3</td></tr>
<tr><td>32</td><td>16</td><td rowspan="2">5</td></tr>
<tr><td>35</td><td>18</td></tr>
<tr><td>40</td><td>20</td><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">6</td><td rowspan="2">10</td></tr>
<tr><td>50</td><td rowspan="2">25</td></tr>
<tr><td>63</td><td rowspan="3">6</td><td rowspan="3">5</td><td rowspan="2">7</td><td rowspan="3">12</td></tr>
<tr><td>70</td><td rowspan="2">30</td></tr>
<tr><td>80</td><td rowspan="2">9</td></tr>
<tr><td>90</td><td>32</td><td rowspan="2">8</td><td rowspan="2">6</td><td rowspan="2">16</td></tr>
<tr><td>100</td><td>35</td><td rowspan="2">12</td></tr>
<tr><td>125</td><td>42</td><td>9</td><td>7</td><td>18</td></tr>
<tr><td>160</td><td>55</td><td>11</td><td>8</td><td>16</td><td>22</td></tr>
<tr><td>200</td><td>70</td><td>12</td><td>9</td><td>18</td><td>24</td></tr>
</table>

材料：45 钢，硬度为 43 ~ 48HRC

响模柄的刚度和强度。否则，可采用带台式模柄。

（5）推杆　穿过模柄孔，把压力机滑块上的推杆横梁的力传给顶板的杆件叫推杆。表 2-41 为 JB/T 7650.1—2008 规定的带肩推杆。

4. 顶件装置

顶件装置是弹性的，是从顺装复合模中的落料凹模和冲孔凸模上顶出制件（图 2-44），一般由顶件块、顶杆和装在下模座上的弹顶器组成。

弹顶器一般是通用的，其弹性元件是橡胶或弹簧，顶件装置和推件装置的作用相同，所以配合参数同推件装置。

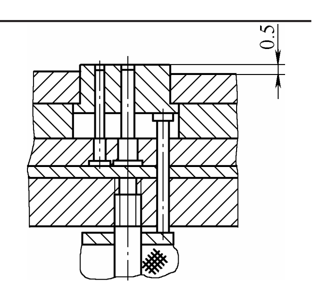
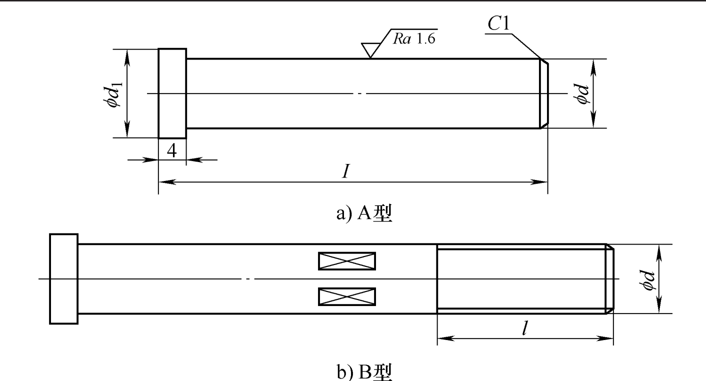


图 2-44　顶件装置

1—弹顶器　2—顶杆

3—顶件块

表 2-41　带肩推杆（摘自 JB/T 7650.1—2008）　　　　（单位：mm）



a) A型

b) B型

示例：直径 $d=8$mm，长度 $L=90$mm 的 A 型带肩推杆标记为

带肩推杆　A8 × 90　JB/T 7650.1—2008

d A型	d B型	L	d_1	l
6	M6	40	8	—
		45		
		50		
		55		
		60		
		70		
		80		20
		90		
		100		
		110		
		120		
		130		
8	M8	50	10	—
		55		
		60		
		65		
		70		
8	M8	80	10	—
		90		25
		100		
		110		
		120		
		130		
		140		
		150		
10	M10	60	13	—
		65		
		70		
		75		
		80		
		90		

d A型	d B型	L	d_1	l
10	M10	100	13	30
		110		
		120		
		130		
		140		
		150		
		160		
		170		
12	M12	70	15	—
		75		
		80		
		85		
		90		
		100		
		110		
		120		
		130		35
		140	15	
		150		
		160		
		170		
		180		
		190		—
16	M16	80	20	
		90		
		100		
		110		40
		120		
		130		
		140		
		150		

d A型	d B型	L	d_1	l
16	M16	160	20	40
		180		
		200		
		220		
20	M20	90	24	—
		100		
		110		
		120		
		130		45
		140		
		150		
		160		
		180		
		200		
		220		
		240		
		260		
25	M25	100	30	—
		110		
		120		
		130		
		140		50
		150		
		160		
		180		
		200		
		220		
		240		
		260		
		280		

5. 弹簧和橡胶的选用

（1）圆钢丝圆柱螺旋压缩弹簧　在冲裁模卸料和顶件装置中，最常用的是两端圈并紧磨平

的普通圆柱螺旋压缩弹簧（表2-42）。其计算公式见表2-43，用表2-43～表2-45即可计算出弹簧的基本尺寸及参数。

选取步骤如下：

1）根据冲模结构与尺寸大小，卸料力大小，确定可装弹簧数量、预压缩后弹簧长度、弹簧压缩后的最小长度以及弹簧外径最大尺寸。

2）计算每个弹簧的预压力

$$F_1 = K\frac{F_x}{n} \tag{2-20}$$

式中　F_1——弹簧预压状态下的压力（安装负荷）（N）；

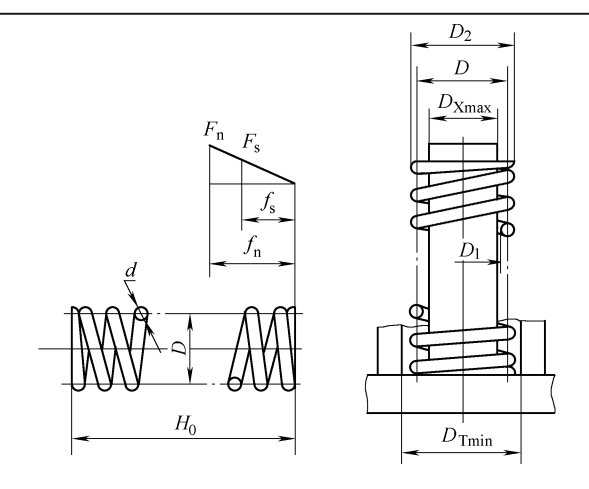
n——弹簧数量；

F_x——卸料力（N）；

K——安全系数，取1.5～2。

3）根据预压力大小，从表2-42中预选弹簧。

表2-42　普通圆柱螺旋压缩弹簧（摘自GB/T 2089—2009）



标记示例

YA型弹簧，直径为1.2mm，中径为8mm，自由高度为40mm，精度等级2级，两端圈并紧磨平的冷卷压缩弹簧

标记：YA1.2×8×40　GB/T 2089

d/mm	D/mm	F_n/N	D_{Xmax}/mm	D_{Tmin}/mm	n=2.5圈				n=4.5圈				n=6.5圈			
					H_0/mm	f_n/mm	F'/(N/mm)	m×10³/kg	H_0/mm	f_n/mm	F'/(N/mm)	m×10³/kg	H_0/mm	f_n/mm	F'/(N/mm)	m×10³/kg
0.5	3	14	1.9	4.1	4	1.5	9.1	0.07	7	2.8	5.1	0.09	10	4.0	3.5	0.12
	3.5	12	2.4	4.6	5	2.1	5.8	0.08	8	3.8	3.2	0.11	12	5.5	2.2	0.14
	4	11	2.9	5.1	6	2.8	3.9	0.09	9	5.2	2.1	0.12	14	7.3	1.5	0.16
	4.5	9.6	3.4	5.6	7	3.6	2.7	0.10	10	6.4	1.5	0.14	16	9.6	1.0	0.18
	5	8.6	3.9	6.1	8	4.3	2.0	0.11	12	7.8	1.1	0.16	18	11	0.8	0.20
0.8	4	40	2.6	5.4	6	1.6	25	0.22	9	2.9	14	0.32	12	4.1	9.7	0.42
	4.5	36	3.1	5.9	7	2.0	18	0.25	10	3.6	10	0.36	14	5.3	6.8	0.47
	5	32	3.6	6.4	8	2.5	13	0.28	11	4.4	7.2	0.40	15	6.4	5.0	0.52
	6	27	4.2	7.8	9	3.6	7.5	0.33	13	6.4	4.2	0.48	19	9.3	2.9	0.63
	7	23	5.2	8.8	10	4.9	4.7	0.39	15	8.8	2.6	0.56	23	13	1.8	0.73
	8	20	6.2	9.8	12	6.3	3.2	0.44	18	11	1.8	0.64	28	17	1.2	0.84

（续）

d /mm	D /mm	F_n /N	D_{Xmax} /mm	D_{Tmin} /mm	$n=2.5$ 圈				$n=4.5$ 圈				$n=6.5$ 圈			
					H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m $\times10^3$ /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m $\times10^3$ /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m $\times10^3$ /kg
1	4.5	68	2.9	6.1	7	1.6	43	0.39	10	2.8	24	0.56	14	4.0	17	0.74
	5	62	3.4	6.6	8	1.9	32	0.43	11	3.4	18	0.62	15	5.2	12	0.82
	6	51	4	8	9	2.8	18	0.52	12	5.1	10	0.75	18	7.3	7.0	0.98
	7	44	5	9	10	3.7	12	0.61	14	6.9	6.4	0.87	21	10	4.4	1.14
	8	38	6	10	12	4.9	7.7	0.69	17	8.8	4.3	1.00	25	13	3.0	1.31
	9	34	7	11	13	6.3	5.4	0.78	20	11	3.0	1.12	29	16	2.1	1.47
	10	31	8	12	15	7.8	4.0	0.87	22	14	2.2	1.25	35	21	1.5	1.63
1.2	6	86	3.8	8.2	9	2.3	38	0.75	12	4.1	21	1.08	17	5.7	15	1.41
	7	74	4.8	9.2	10	3.1	24	0.87	14	5.7	13	1.26	20	8.0	9.2	1.65
	8	65	5.8	10	11	4.1	16	1.00	16	7.3	8.9	1.44	24	11	6.2	1.88
	9	58	6.8	11	12	5.3	11	1.12	20	9.4	6.2	1.62	28	13	4.3	2.12
	10	52	7.8	12	14	6.3	8.2	1.25	24	11	4.6	1.80	32	16	3.2	2.35
	12	43	8.8	15	17	9.1	4.7	1.50	26	17	2.6	2.16	40	24	1.8	2.82
1.4	7	114	4.6	9.4	10	2.6	44	1.19	15	4.6	25	1.71	20	6.7	17	2.24
	8	100	5.6	10	11	3.3	30	1.36	16	6.3	16	1.96	22	9.1	11	2.56
	9	89	6.6	11	12	4.2	21	1.53	18	7.4	12	2.20	24	11	8.0	2.88
	10	80	7.6	12	13	5.3	15	1.70	20	9.5	8.4	2.45	28	14	5.8	3.20
	12	67	8.6	15	16	7.6	8.8	2.03	24	14	4.9	2.94	35	20	3.4	3.84
	14	57	11	17	19	10	5.5	2.37	30	18	3.1	3.43	42	27	2.1	4.48
1.6	8	145	5.4	11	11	2.8	51	1.77	17	5.2	28	2.56	22	7.6	19	3.35
	9	129	6.4	12	12	3.6	36	1.99	19	6.5	20	2.88	24	9.2	14	3.77
	10	116	7.4	13	13	4.5	26	2.21	20	8.3	14	3.20	28	12	10	4.18
	12	97	8.4	16	15	6.5	15	2.66	24	12	8.3	3.84	32	17	5.8	5.02
	14	83	10	18	18	8.8	9.4	3.10	28	16	5.2	4.48	40	23	3.6	5.86
	16	73	12	20	22	12	6.3	3.54	36	21	3.5	5.12	48	30	2.4	6.69
1.8	9	179	6.2	12	13	3.1	57	2.52	18	5.6	32	3.64	25	8.1	22	4.77
	10	161	7.2	13	15	3.9	41	2.80	20	7.0	23	4.05	28	10	16	5.29
	12	134	8.2	16	16	5.6	24	3.36	24	10	13	4.86	32	15	9.2	6.35
	14	115	10	18	18	7.7	15	3.92	28	14	8.4	5.67	38	20	5.8	7.41
	16	101	12	20	20	10	10	4.49	32	18	5.6	6.48	45	26	3.9	8.47
	18	90	14	22	22	13	7	5.05	38	23	4.0	7.29	52	33	2.7	9.53
2	10	215	7	13	13	3.4	63	3.46	20	6.1	35	5.00	28	9.0	24	6.54
	12	179	8	16	15	4.8	37	4.15	24	9.0	20	6.00	32	13	14	7.84
	14	153	10	18	17	6.7	23	4.85	26	12	13	7.00	38	17	8.9	9.15
	16	134	12	20	19	8.9	15	5.54	30	16	8.6	8.00	42	23	5.9	10.46
	18	119	14	22	22	11	11	6.23	35	20	6.0	9.00	48	28	4.2	11.77
	20	107	15	25	24	14	7.9	6.92	40	24	4.4	10.00	55	36	3.0	13.07
2.5	12	339	7.5	17	16	3.8	89	6.49	24	6.8	50	9.37	32	10	34	12.26
	14	291	9.5	19	17	5.2	56	7.57	28	9.4	31	10.93	38	13	22	14.30
	16	255	12	21	19	6.7	38	8.65	30	12	21	12.50	40	18	14	16.34
	18	226	14	23	20	8.7	26	9.73	30	15	15	14.06	48	23	10	18.39
	20	204	15	26	24	11	19	10.81	38	19	11	15.62	52	28	7.4	20.43
	22	185	17	28	26	13	14	11.90	42	23	8.1	17.18	58	33	5.6	22.47
	25	163	20	31	30	16	10	13.52	48	30	5.5	19.53	70	43	3.8	25.53

（续）

d /mm	D /mm	F_n /N	D_{Xmax} /mm	D_{Tmin} /mm	$n=2.5$圈				$n=4.5$圈				$n=6.5$圈			
					H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m $\times10^3$ /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m $\times10^3$ /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m $\times10^3$ /kg
3	14	475	9	19	18	4.1	117	10.90	28	7.3	65	15.75	38	11	45	20.59
	16	416	11	21	20	5.3	78	12.46	30	9.7	43	18.00	40	14	30	23.53
	18	370	13	23	22	6.7	55	14.02	35	12	30	20.25	45	18	21	26.47
	20	333	14	26	24	8.3	40	15.57	38	15	22	22.49	50	22	15	29.42
	22	303	16	28	24	10	30	17.13	40	18	17	24.74	58	25	12	32.36
	25	266	19	31	28	13	20	19.47	45	23	11	28.12	65	34	7.9	36.77
	28	238	22	34	32	16	15	21.80	52	29	8.1	31.49	70	43	5.6	41.18
	30	222	24	36	35	19	12	23.36	58	34	6.6	33.74	80	48	4.6	44.12
3.5	16	661	11	22	22	4.6	145	16.96	32	8.3	80	24.49	45	12	56	32.03
	18	587	13	24	22	5.8	102	19.08	35	10	56	27.56	48	15	39	36.03
	20	528	14	27	24	7.1	74	21.20	38	13	41	30.62	50	19	28	40.04
	22	480	16	29	26	8.6	56	23.32	40	15	31	33.68	55	23	21	44.04
	25	423	19	32	28	11	38	26.50	45	20	21	38.27	65	28	15	50.05
	28	377	22	35	32	14	27	29.68	50	25	15	42.86	70	38	10	56.05
	30	352	24	37	35	16	22	31.80	55	29	12	45.93	75	42	8.4	60.06
	32	330	25	40	38	18	18	33.92	60	33	10	48.99	80	47	7.0	64.06
	35	302	28	43	40	22	14	37.09	65	39	7.7	53.58	90	57	5.3	70.07
4	20	764	13	27	26	6.1	126	27.69	38	11	70	39.99	52	16	49	52.30
	22	694	15	29	28	7.3	95	30.45	40	13	53	43.99	55	19	37	57.52
	25	611	18	32	30	9.4	65	34.61	45	17	36	49.99	60	24	25	65.37
	28	545	21	35	34	12	46	38.76	50	21	26	55.99	70	30	18	73.21
	30	509	23	37	36	14	37	41.53	55	24	21	59.99	75	36	14	78.44
	32	477	24	40	37	15	31	44.30	58	28	17	63.98	80	40	12	83.67
	35	436	27	43	41	18	24	48.45	65	34	13	69.98	90	48	9.1	91.52
	38	402	30	46	46	22	18	52.60	70	40	10	75.98	100	57	7.1	99.36
	40	382	32	48	48	24	16	55.37	75	43	8.8	79.98	105	63	6.1	104.6
4.5	22	988	15	30	28	6.5	152	38.54	42	12	85	55.67	58	17	59	72.80
	25	870	18	33	30	8.4	104	43.80	48	15	58	63.27	60	22	40	82.73
	28	777	21	36	32	11	74	49.06	50	19	41	70.86	70	28	28	92.66
	30	725	23	38	36	12	60	52.56	52	22	33	75.92	75	32	23	99.28
	32	680	24	41	37	14	49	56.06	58	25	27	80.98	75	36	19	105.9
	35	621	27	44	40	16	38	61.32	60	30	21	88.57	85	41	15	115.8
	38	572	30	47	44	19	30	66.58	65	36	16	96.16	90	52	11	125.8
	40	544	42	49	48	22	25	70.08	70	39	14	101.2	100	56	9.7	132.4
	45	483	37	54	54	27	18	78.84	85	48	10	113.9	120	71	6.8	148.9
5	25	1154	17	33	30	7	158	54.07	48	13	88	78.11	65	19	61	102.1
	28	1030	20	36	32	9	112	60.56	52	17	62	87.48	70	24	43	114.4
	30	962	22	38	35	11	91	64.89	55	19	51	93.73	75	27	35	122.6
	32	902	23	41	38	12	75	69.21	58	21	42	99.98	80	31	29	130.7
	35	824	26	44	40	14	58	75.70	60	26	32	109.3	85	37	22	143.0
	38	759	29	47	42	17	45	82.19	65	30	25	118.7	90	44	17	155.3
	40	721	31	49	45	18	39	86.52	70	34	21	125.0	100	48	15	163.4
	45	641	36	54	50	24	27	97.33	80	43	15	140.6	115	64	10	183.9
	50	577	41	59	55	29	20	108.1	95	52	11	156.2	130	76	7.6	204.3
6	30	1605	21	39	38	8	190	93.44	55	15	105	135.0	75	22	73	176.5
	32	1505	22	42	38	10	156	99.67	58	17	87	144.0	80	25	60	188.3
	35	1376	25	45	40	12	119	109.0	60	21	66	157.5	85	30	46	205.9

（续）

d /mm	D /mm	F_n /N	D_{Xmax} /mm	D_{Tmin} /mm	n=2.5 圈				n=4.5 圈				n=6.5 圈			
					H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m ×10^3 /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m ×10^3 /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m ×10^3 /kg
6	38	1267	28	48	42	14	93	118.4	65	24	52	171.0	90	35	36	223.6
	40	1204	30	50	45	15	80	124.6	70	27	44	180.0	95	39	31	235.3
	45	1070	35	55	48	19	56	140.2	75	35	31	202.5	105	49	22	264.7
	50	963	40	60	52	23	41	155.7	85	42	23	224.9	120	60	16	294.2
	55	876	44	66	58	28	31	171.3	95	52	17	247.4	130	73	12	323.6
	60	803	49	71	65	33	24	186.9	105	62	13	269.9	150	88	9.1	353.0

d /mm	D /mm	F_n /N	D_{Xmax} /mm	D_{Tmin} /mm	n=8.5 圈				n=10.5 圈				n=12.5 圈			
					H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m ×10^3 /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m ×10^3 /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m 10^3 /kg
0.5	3	14	1.9	4.1	11	5.2	2.7	0.15	14	6.4	2.2	0.18	16	7.8	1.8	0.21
	3.5	12	2.4	4.6	13	7.1	1.7	0.18	16	8.6	1.4	0.21	19	10	1.2	0.24
	4	11	2.9	5.1	15	10	1.1	0.20	19	12	0.9	0.24	22	14	0.8	0.28
	4.5	9.6	3.4	5.6	18	12	0.8	0.23	22	16	0.6	0.27	26	19	0.5	0.31
	5	8.6	3.9	6.1	21	14	0.6	0.25	26	17	0.5	0.30	30	22	0.4	0.35
0.8	4	40	2.6	5.4	15	5.4	7.4	0.52	18	6.7	6.0	0.62	22	7.8	5.1	0.71
	4.5	36	3.1	5.9	16	6.9	5.2	0.58	20	8.6	4.2	0.69	24	10	3.6	0.80
	5	32	3.6	6.4	18	8.4	3.8	0.65	22	10	3.1	0.77	28	12	2.6	0.89
	6	27	4.2	7.8	22	12	2.2	0.78	28	15	1.8	0.92	32	18	1.5	1.07
	7	23	5.2	8.8	28	16	1.4	0.90	32	21	1.1	1.08	38	26	0.9	1.25
	8	20	6.2	9.8	32	22	0.9	1.03	40	25	0.8	1.23	48	33	0.6	1.43
1	4.5	68	2.9	6.1	16	5.2	13	0.91	20	6.8	10	1.08	24	7.8	8.7	1.25
	5	62	3.4	6.6	18	6.7	9.3	1.01	22	8.3	7.5	1.20	26	9.8	6.3	1.39
	6	51	4	8	20	9.4	5.4	1.21	26	12	4.4	1.44	30	14	3.7	1.67
	7	44	5	9	26	13	3.4	1.41	30	16	2.7	1.68	35	19	2.3	1.95
	8	38	6	10	30	17	2.3	1.62	35	21	1.8	1.92	42	25	1.5	2.23
	9	34	7	11	35	21	1.6	1.82	42	26	1.3	2.16	48	31	1.1	2.51
	10	31	8	12	40	26	1.2	2.02	48	34	0.9	2.40	58	39	0.8	2.79
1.2	6	86	3.8	8.2	22	7.8	11	1.74	25	9.6	9.0	2.08	30	11	7.6	2.41
	7	74	4.8	9.2	25	11	7.0	2.03	30	13	5.7	2.42	35	15	4.8	2.81
	8	65	5.8	10	28	14	4.7	2.33	35	17	3.8	2.77	40	20	3.2	3.21
	9	58	6.8	11	35	18	3.3	2.62	45	22	2.7	3.11	50	26	2.2	3.61
	10	52	7.8	12	40	22	2.4	2.91	50	26	2.0	3.46	58	33	1.6	4.01
	12	43	8.8	15	48	31	1.4	3.49	58	39	1.1	4.15	70	48	0.9	4.82
1.4	7	114	4.6	9.4	26	8.8	13	2.77	30	10	11	3.30	35	13	8.8	3.82
	8	100	5.6	10	28	11	8.7	3.17	35	14	7.1	3.77	40	17	5.9	4.37
	9	89	6.6	11	32	15	6.1	3.56	38	18	5.0	4.24	45	21	4.2	4.92
	10	80	7.6	12	35	18	4.5	3.96	42	22	3.6	4.71	50	27	3.0	5.46
	12	67	8.6	15	45	26	2.6	4.75	52	32	2.1	5.65	60	37	1.8	6.56
	14	57	11	17	55	36	1.6	5.54	65	44	1.3	6.59	75	52	1.1	7.65
1.6	8	145	5.4	11	28	9.7	15	4.13	35	12	12	4.92	40	15	10	5.71
	9	129	6.4	12	32	13	10	4.65	38	15	8.5	5.54	45	18	7.1	6.42
	10	116	7.4	13	35	15	7.6	5.17	42	19	6.2	6.15	48	22	5.2	7.14
	12	97	8.4	16	42	22	4.4	6.20	50	27	3.6	7.38	60	32	3.0	8.56
	14	83	10	18	50	30	2.8	7.24	60	38	2.2	8.61	70	44	1.9	9.99
	16	73	12	20	60	38	1.9	8.27	70	49	1.5	9.84	85	56	1.3	11.42

（续）

d /mm	D /mm	F_n /N	D_{Xmax} /mm	D_{Tmin} /mm	$n=8.5$ 圈				$n=10.5$ 圈				$n=12.5$ 圈			
					H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m $\times10^3$ /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m $\times10^3$ /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m $\times10^3$ /kg
1.8	9	179	6.2	12	32	11	17	5.89	38	13	14	7.01	42	16	11	8.13
	10	161	7.2	13	35	13	12	6.54	40	16	9.9	7.79	48	19	8.3	9.03
	12	134	8.2	16	40	19	7.1	7.85	50	24	5.7	9.34	58	28	4.8	10.84
	14	115	10	18	48	26	4.4	9.16	58	32	3.6	10.90	70	38	3.0	12.65
	16	101	12	20	60	34	3.0	10.47	70	42	2.4	12.46	80	51	2.0	14.45
	18	90	14	22	65	43	2.1	11.77	80	53	1.7	14.02	95	64	1.4	16.26
2	10	215	7	13	35	11	19	8.08	40	14	15	9.61	48	17	13	11.15
	12	179	8	16	40	16	11	9.69	48	21	8.7	11.54	58	25	7.3	13.38
	14	153	10	18	50	23	6.8	11.31	55	28	5.5	13.46	65	33	4.6	15.61
	16	134	12	20	55	30	4.5	12.92	65	37	3.7	15.38	75	43	3.1	17.84
	18	119	14	22	65	37	3.2	14.54	75	46	2.6	17.30	90	54	2.2	20.07
	20	107	15	25	75	47	2.3	16.15	90	56	1.9	19.23	105	67	1.6	22.30
2.5	12	339	7.5	17	40	13	26	15.14	50	16	21	18.02	58	19	18	20.91
	14	291	9.5	19	45	17	17	17.66	55	22	13	21.03	65	26	11	24.39
	16	255	12	21	52	23	11	20.19	65	28	9.0	24.03	75	34	7.5	27.88
	18	226	14	23	58	29	7.8	22.71	70	36	6.3	27.04	85	43	5.3	31.36
	20	204	15	26	65	36	5.7	25.23	80	44	4.6	30.04	95	52	3.9	34.85
	22	185	17	28	75	43	4.3	27.76	90	53	3.5	33.05	105	64	2.9	38.33
	25	163	20	31	90	56	2.9	31.54	105	68	2.4	37.55	120	82	2.0	43.56
3	14	475	9	19	48	14	34	25.44	58	17	28	30.28	65	21	23	35.13
	16	416	11	21	52	18	23	29.07	65	22	19	34.61	75	26	16	40.14
	18	370	13	23	58	23	16	32.70	70	28	13	38.93	80	34	11	45.16
	20	333	14	26	65	28	12	36.34	75	35	9.5	43.26	90	42	8.0	50.18
	22	303	16	28	70	34	8.8	39.97	85	42	7.2	47.58	100	51	6.0	55.20
	25	266	19	31	80	44	6.0	45.42	100	54	4.9	54.07	115	65	4.1	62.73
	28	238	22	34	95	55	4.3	50.87	115	68	3.5	60.56	140	82	2.9	70.25
	30	222	24	36	100	63	3.5	54.51	120	79	2.8	64.89	150	93	2.4	75.27
3.5	16	661	11	22	55	15	43	39.57	65	19	34	47.10	75	23	29	54.64
	18	587	13	24	58	20	30	44.51	70	24	24	52.99	80	29	20	61.47
	20	528	14	27	65	24	22	49.46	75	29	18	58.88	90	35	15	68.30
	22	480	16	29	70	30	16	54.41	85	37	13	64.77	100	44	11	75.13
	25	423	19	32	80	38	11	61.82	95	47	9.0	73.60	110	56	7.6	85.38
	28	377	22	35	90	48	7.9	69.24	110	59	6.4	82.43	130	70	5.4	95.62
	30	352	24	37	95	54	6.5	74.19	115	68	5.2	88.32	140	80	4.4	102.5
	32	330	25	40	105	62	5.3	79.14	130	77	4.3	94.21	150	92	3.6	109.3
	35	302	28	43	115	74	4.1	86.55	140	92	3.3	103.0	170	108	2.8	119.5
4	20	764	13	27	65	21	37	64.60	80	25	30	76.90	90	30	25	89.21
	22	694	15	29	70	25	28	71.06	85	30	23	84.60	100	37	19	98.13
	25	611	18	32	80	32	19	80.75	95	41	15	96.13	110	47	13	111.5
	28	545	21	35	90	39	14	90.44	105	50	11	107.7	130	59	9.2	124.9
	30	509	23	37	95	46	11	96.90	115	57	8.9	115.4	140	68	7.5	133.8
	32	477	24	40	100	52	9.1	103.4	120	65	7.3	123.0	150	77	6.2	142.7
	35	436	27	43	115	63	6.9	113.1	140	78	5.6	134.6	160	93	4.7	156.1
	38	402	30	46	130	74	5.4	122.7	150	91	4.4	146.1	180	109	3.7	169.5
	40	382	32	48	142	83	4.6	129.2	160	101	3.8	153.8	190	119	3.2	178.4
4.5	22	988	15	30	70	22	45	89.9	85	27	36	107.1	100	33	30	124.2
	25	870	18	33	80	29	30	102.2	95	35	25	121.7	110	41	21	141.1

（续）

d /mm	D /mm	F_n /N	D_{Xmax} /mm	D_{Tmin} /mm	n=8.5 圈				n=10.5 圈				n=12.5 圈			
					H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m ×10^3 /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m ×10^3 /kg	H_0 /mm	f_n /mm	F' /(N/mm)	m ×10^3 /kg×
4.5	28	777	21	36	85	35	22	114.5	105	43	18	136.3	120	52	15	158.1
	30	725	23	38	90	40	18	122.6	110	52	14	146.0	130	60	12	169.4
	32	680	24	41	100	45	15	130.8	120	57	12	155.7	140	69	9.9	180.6
	35	621	27	44	105	56	11	143.1	130	69	9.0	170.3	150	82	7.6	197.6
	38	572	30	47	110	66	8.7	155.3	145	82	7.0	184.9	160	97	5.9	214.5
	40	544	42	49	130	74	7.4	163.5	160	91	6.0	194.7	190	107	5.1	225.8
	45	483	37	54	150	93	5.2	184.0	180	115	4.2	219.0	220	134	3.6	254.0
5	25	1154	17	33	80	25	46	126.2	100	30	38	150.2	115	36	32	174.2
	28	1030	20	36	90	31	33	141.3	105	38	27	168.2	120	47	22	195.1
	30	962	22	38	95	36	27	151.4	115	44	22	180.2	130	53	18	209.1
	32	902	23	41	100	41	22	161.5	120	50	18	192.3	140	60	15	223.0
	35	824	26	44	110	48	17	176.6	130	59	14	210.3	150	69	12	243.9
	38	759	29	47	120	58	13	191.8	140	69	11	228.3	170	84	9.0	264.8
	40	721	31	49	130	66	11	201.9	150	78	9.2	240.3	180	93	7.7	278.8
	45	641	36	54	140	80	8.0	227.1	180	99	6.5	270.4	200	118	5.4	313.6
	50	577	41	59	170	99	5.8	252.3	200	123	4.7	300.4	240	144	4.0	348.5
6	30	1605	21	39	95	29	56	218.0	115	36	45	259.6	130	42	38	301.1
	32	1505	22	42	100	33	46	232.6	120	41	37	276.9	140	49	31	321.2
	35	1376	25	45	105	39	35	254.4	130	49	28	302.8	150	57	24	351.3
	38	1267	28	48	115	47	27	276.2	140	58	22	328.8	160	67	19	381.4
	40	1204	30	50	120	50	24	290.7	140	63	19	346.1	170	75	16	401.4
	45	1070	35	55	140	63	17	327.0	160	82	13	389.3	190	97	11	451.6
	50	963	40	60	150	80	12	363.4	190	98	9.8	432.6	220	117	8.2	501.8
	55	876	44	66	170	97	9.0	399.7	200	120	7.3	475.8	240	141	6.2	552.0
	60	803	49	71	190	115	7.0	436.1	240	143	5.6	519.1	280	171	4.7	602.2

注：F'为弹簧刚度，m为弹簧单件质量，n为有效圈数。

表 2-43　圆柱螺旋压缩弹簧的计算公式(一)

名称	公式
切应力/MPa	$\tau = K\dfrac{8DF}{\pi d^3}$ 式中　K—曲度系数，静负荷时，$K=1$
试验负荷/N	$F_s = \dfrac{\pi d^3}{8D}\tau_s$
工作负荷/N	$F = F'f = \dfrac{Gd^4 f}{8D^3 n}$
试验负荷下变形量/mm	$f_s = \dfrac{\tau_s \pi D^2 n}{Gd}$
弹簧刚度/(N/mm)	$F' = \dfrac{F_2 - F_1}{f_2 - f_1} = \dfrac{F}{f} = \dfrac{Gd^4}{8D^3 n}$
曲度系数	$K = \dfrac{4C-1}{4C-4} + \dfrac{0.615}{C}$
旋绕比	$C = \dfrac{D}{d}$

（续）

名称	公式
自由高度/mm	$H_0 \approx H_b + f_b$ 式中　$H_b \leqslant n_1 d_{max}$(mm)
弹簧单件质量/kg	$m \approx \frac{\pi d^2}{4} l\rho$ 式中　ρ——弹簧材料的密度(kg/mm³),取 $\rho = 7.85 \times 10^{-6}$kg/mm³

表 2-44　圆柱螺旋压缩弹簧的计算公式(二)

推荐负荷类型	许用切应力[τ]/MPa	切变模量 G/MPa	最大工作负荷 F_n/N	最大工作变形量 f_n/mm
碳素弹簧钢丝				
静负荷	$0.5R_m$	79000	$\left(\frac{0.5R_m \pi d^3}{8D}\right)0.8$	$\left(\frac{0.5R_m \pi D^2 n}{Gd}\right)0.8$
循环次数为 $N \leqslant 10^5$ 的动负荷	$(0.5R_m)0.8$		$\left(\frac{0.5R_m \pi d^3}{8KD}\right)0.8$	$\left(\frac{0.5R_m \pi D^2 n}{KGd}\right)0.8$
弹簧钢				
静负荷	740	79000	$\left(\frac{740\pi d^3}{8D}\right)0.8$	$\left(\frac{740\pi D^2 n}{Gd}\right)0.8$
循环次数为 $N \leqslant 10^5$ 的动负荷	740×0.8		$\left(\frac{740\pi d^3}{8KD}\right)0.8$	$\left(\frac{740\pi D^2 n}{KGd}\right)0.8$

注:试验切应力 740MPa,选自 GB/T 23934—2009。

表 2-45　C 级材料抗拉强度(摘自 GB/T 4357—2009)

d/mm	0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5
R_m/MPa	2200	2010	1960	1910	1860	1810	1760	1710	1660	1570	1570
d/mm	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	8.0	10	11	12	13	
R_m/MPa	1520	1520	1470	1470	1420	1370	1320	1270	1270	1220	

注：表中材料抗拉强度为 C 级下限值。

4）计算弹簧预压变形量，校核预压力。

5）计算最大变形量和最大工作负荷。

例已知冲裁件材料为 H68（黄铜），料厚为 0.3mm，冲裁件周长为 142mm，试选用弹簧。

1）根据冲模结构与尺寸大小，可安装 4 根弹簧，预压后弹簧高度为 36.5mm，冲压时弹簧最小高度为 34mm，弹簧最大外径不超过 18mm。

2）计算每个弹簧的预压力（安装负荷）

冲裁力　$F = LtR_m = 142\text{mm} \times 0.3\text{mm} \times 300\text{MPa} = 12780\text{N}$

卸料力　$F_x = 0.04F = 0.04 \times 12780\text{N} = 511\text{N}$

预压力　$F_1 = K\frac{F_x}{n} = 1.7 \times \frac{511\text{N}}{4} = 217\text{N}$

3）根据预压力 F_1 大小，从表 2-44 预选弹簧为：$d = 2.5\text{mm}$，$F_n = 291\text{N}$，$D = 14\text{mm}$，$H_0 = 55\text{mm}$，$f_n = 22\text{mm}$，$n = 10.5$ 圈。

4）计算弹簧预压变形量 f_s 和校核预压力 F_1'

$$f_s = 55\text{mm} - 36.5\text{mm} = 18.5\text{mm}$$

由$\frac{291}{22}=\frac{F_1'}{18.5}$，得 $F_1'=244\text{N}$。

因为 $F_1'=244\text{N}>217\text{N}=F_1$，所以选用安全。

5）计算最大工作负荷下的变形量f和最大工作负荷 F_2

$$f = 55\text{mm} - 34\text{mm} = 21\text{mm}$$

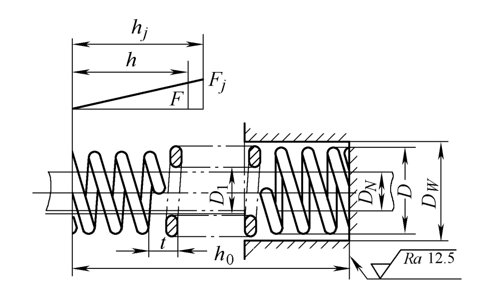
由$\frac{291}{22}=\frac{F_2}{21}$，得 $F_2=277\text{N}$。

最大工作负荷变形量$f=21\text{mm}<f_n=22\text{mm}$，符合要求。

最大工作负荷 $F_2=277\text{N}<291\text{N}=F_n$，符合要求。

所以选用弹簧为 YA2.5×14×55　GB/T 2089。

表 2-46　强力弹簧



组别	序号	安装尺寸		弹簧几何尺寸			规定值		参考值			
		窝座	心轴	外径	内径	自由高度	50 万次		100 万次		≤10 万次	
		D_W	D_N	D	D_1	h_0	h_j	F_j/N	h_j	F_j/N	h_j	F_j/N
A	1	10	5.2	9.0	5.2	30	7.5	100	6.0	90	11.1	150
	2					40	10.0		8.0		14.8	
	3					50	12.5		10.0		18.5	
	4					63	15.8		12.6		23.3	
B	5	13	7	12	7	30	7.5	180	6.0	160	11.1	280
	6					40	10.0		8.0		14.8	
	7					50	12.5		10.0		18.5	
	8					63	15.8		12.6		23.3	
C	9	16	8.7	15	8.8	40	10.0	320	8.0	250	14.8	480
	10					50	12.5		10.0		18.5	
	11					63	15.8		12.6		23.3	
	12					80	20.0		16.0		29.6	
D	13	20	10.0	19	10	40	10.0	540	8.0	440	14.8	800
	14					50	12.5		10.0		18.5	
	15					63	15.8		12.6		23.3	
	16					80	20.0		16.0		29.6	
	17					100	25.0		20.0		37.0	
E	18	25	12.5	24	12.6	40	10.0	840	8.0	650	14.8	1250
	19					50	12.5		10.0		18.5	

（续）

组别	序号	安装尺寸		弹簧几何尺寸			规定值		参考值			
		窝座	心轴	外径	内径	自由高度	50 万次		100 万次		≤10 万次	
		D_W	D_N	D	D_1	h_0	h_j	F_j/N	h_j	F_j/N	h_j	F_j/N
E	20	25	12.5	24	12.6	63	15.8	840	12.6	650	23.3	1250
	21					80	20.0		16.0		29.6	
	22					100	25.0		20.0		37.0	
F	23	32	16	30.5	17.5	40	10.0	1920	8.0	1540	14.8	2850
	24					50	12.5		10.0		18.5	
	25					63	15.8		12.6		23.3	
	26					80	20.0		16.0		29.6	
	27					100	25.0		20.0		37.0	
	28					125	31.3		25.0		46.3	
	29					150	37.5		30.0		55.5	
G	30	40	21	38.5	22.5	50	12.5	2450	10	1970	18.5	3500
	31					63	15.8		12.6		23.3	
	32					80	20.0		16.0		29.6	
	33					100	25.0		20.0		37.0	
	34					150	37.5		30.0		55.5	
	35					200	50.0		40.0		74.0	
	36					250	62.5		50.0		92.5	
H	37	50	26	48.5	27.5	63	15.8	3450	12.6	2760	23.3	4900
	38					80	20.0		16.0		29.6	
	39					100	25.0		20.0		37.0	
	40					150	37.5		30.0		55.5	
	41					200	50.0		40.0		74.0	
	42					250	62.5		50.0		92.5	
	43					300	75.0		60.0		111	
I	44	60	31	58.5	32.5	80	20.0	4350	16.0	3500	29.6	6200
	45					100	25.0		20.0		37.0	
	46					150	37.5		30.0		55.5	
	47					200	50.0		40.0		74.0	
	48					250	62.5		50.0		92.5	
	49					300	75.0		60.0		111	

（2）弹力弹簧的选用　圆钢丝圆柱螺旋压缩弹簧在普通冲模中被广泛采用；但对高速冲模、精冲模和高效率、高精度、高寿命多工序多工位级进模中，广泛使用截面为矩形或扁圆形的强力

弹簧。强力弹簧在同样的负荷下体积比圆柱螺旋压缩弹簧小，而在相同的体积下却可以获得较大的压缩量，且使用寿命长。强力弹簧使用外径大于 25mm 较好。一般可使用国产标准弹簧，另一种是按日本、美国或其他国家标准生产或代理他们的产品向市场供应，可按表 2-46 选用。

(3) 蝶形弹簧的选用　蝶形弹簧具有以小变形承受较大载荷、缓冲吸振力强、结构紧凑等优点，在冲压中得到了日益广泛的应用。碟形弹簧根据厚度的不同，分为无支承面碟簧和有支承面碟簧，如图 2-45 所示，碟形弹簧根据 D/t 及 h_0/t 的比值不同分为 A、B、C 三个系列（表 2-47 ~ 表 2-49），碟形弹簧的计算公式见表 2-50。

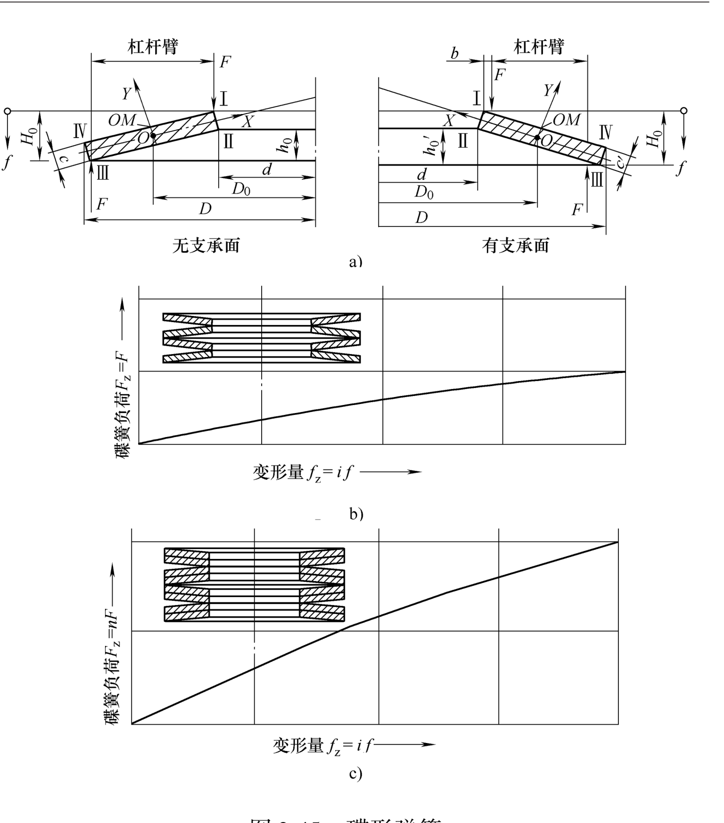


图 2-45　碟形弹簧

a）碟形弹簧的型式　b）对合组合碟簧　c）复合组合碟簧

冲模中常用对合组合碟簧和复合组合碟簧如图 2-45 所示。单片碟形弹簧的特性曲线如图2-46 所示。

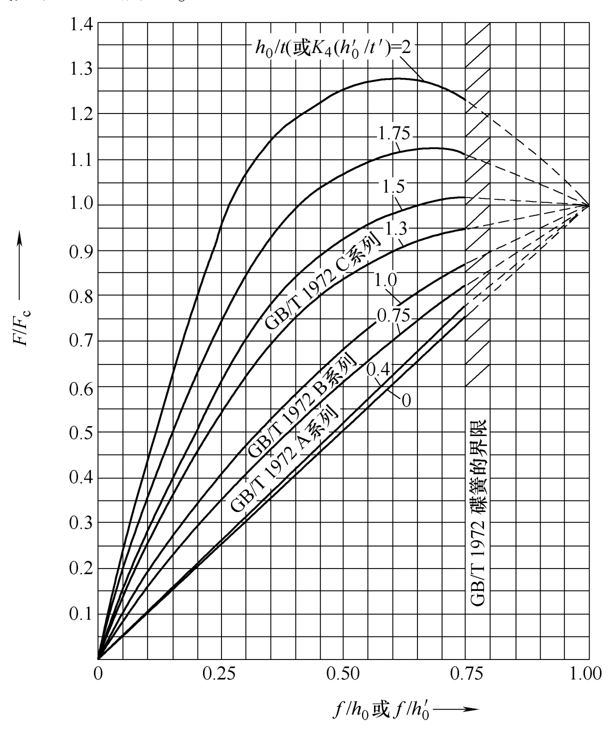


图 2-46　按不同 h_0/t 或 $K_4(h_0'/t')$ 计算的单片碟形弹簧的特性曲线

表 2-47　系列 A（$D/t \approx 18$，$h_0/t \approx 0.4$，$E = 206000\text{MPa}$，$\mu = 0.3$）

类别	D /mm	d /mm	$t(t')$① /mm	h_0 /mm	H_0 /mm	$f \approx 0.75h_0$					Q/(kg/1000 片)
						f /mm	(H_0-f) /mm	F /N	σ_{OM}② /MPa	σ_{II}、σ_{III}③ /MPa	
1	8	4.2	0.4	0.2	0.6	0.15	0.45	210	-1200	1220*	0.114
	10	5.2	0.5	0.25	0.75	0.19	0.56	329	-1210	1240*	0.225
	12.5	6.2	0.7	0.3	1	0.23	0.77	673	-1280	1420*	0.508
	14	7.2	0.8	0.3	1.1	0.23	0.87	813	-1190	1340*	0.711
	16	8.2	0.9	0.35	1.25	0.26	0.99	1000	-1160	1290*	1.050
	18	9.2	1	0.4	1.4	0.3	1.1	1250	-1170	1300*	1480
	20	10.2	1.1	0.45	1.55	0.34	1.21	1530	-1180	1300*	2.010
2	22.5	11.2	1.25	0.5	1.75	0.38	1.37	1950	-1170	1320*	2.940
	25	12.2	1.5	0.55	2.05	0.41	1.64	2910	-1210	1410*	4.400
	28	14.2	1.5	0.65	2.15	0.49	1.66	2850	-1180	1280*	5.390
	31.5	16.3	1.75	0.7	2.45	0.53	1.92	3900	-1190	1320*	7.840
	35.5	18.3	2	0.8	2.8	0.6	2.2	5190	-1210	1330*	11.40
	40	20.4	2.25	0.9	3.15	0.68	2.47	6540	-1210	1340	16.40
	45	22.4	2.5	1	3.5	0.75	2.75	7720	-1150	1300*	23.50
	50	25.4	3	1.1	4.1	0.83	3.27	12000	-1250	1430*	34.30
	56	28.5	3	1.3	4.3	0.98	3.32	11400	-1180	1280*	43.00
	63	31	3.5	1.4	4.9	1.05	3.85	15000	-1140	1300*	64.90
	71	36	4	1.6	5.6	1.2	4.4	20500	-1200	1330*	91.80
	80	41	5	1.7	6.7	1.28	5.42	33700	-1260	1460*	145.0
	90	46	5	2	7	1.5	5.5	31400	-1170	1300*	184.5
	100	51	6	2.2	8.2	1.65	6.55	48000	-1250	1420*	273.7
	112	57	6	2.5	8.5	1.88	6.62	43800	-1130	1240*	343.8
3	125	64	8(7.5)	2.6	10.6	1.95	8.65	85900	-1280	1330*	533.0
	140	72	8(7.5)	3.2	11.2	2.4	8.8	85300	-1260	1280*	666.6
	160	82	10(9.4)	3.5	13.5	2.63	10.87	139000	-1320	1340*	1094
	180	92	10(9.4)	4	14	3	11	125000	-1180	1200	1387
	200	102	12(11.25)	4.2	16.2	3.15	13.05	183000	-1210	1230*	2100
	225	112	12(11.25)	5	17	3.75	13.25	171000	-1120	1140	2640
	250	127	14(13.1)	5.6	19.6	4.2	15.4	249000	-1200	1220	3750

① 表中给出的 t 是碟簧厚度的公称数值，t'是第 3 类碟簧的实际厚度。

② σ_{OM}是碟簧上表面 OM 点的计算应力。

③ 有“*”号的数值是在位置Ⅱ处的最大计算拉应力，无“*”号的数值是在位置Ⅲ处的最大计算拉应力。

表 2-48　系列 B（$D/t \approx 28$，$h_0/t \approx 0.75$，$E = 206000\text{MPa}$，$\mu = 0.3$）

类别	D /mm	d /mm	$t(t')$① /mm	h_0 /mm	H_0 /mm	$f \approx 0.75h_0$					Q/(kg/1000 片)
						f /mm	(H_0-f) /mm	F /N	σ_{OM}② /MPa	σ_{II}、σ_{III}③ /MPa	
1	8	4.2	0.3	0.25	0.55	0.19	0.36	119	-1140	1330	0.086
	10	5.2	0.4	0.3	0.7	0.23	0.47	213	-1170	1300	0.180
	12.5	6.2	0.5	0.35	0.85	0.26	0.59	291	-1000	1110	0.363
	14	7.2	0.5	0.4	0.9	0.3	0.6	279	-970	1100	0.444
	16	8.2	0.6	0.45	1.05	0.34	0.71	412	-1010	1120	0.698
	18	9.2	0.7	0.5	1.2	0.38	0.82	572	-1040	1130	1.030
	20	10.2	0.8	0.55	1.35	0.41	0.94	745	-1030	1110	1.460
	22.5	11.2	0.8	0.65	1.45	0.49	0.96	710	-962	1080	1.880
	25	12.2	0.9	0.7	1.6	0.53	1.07	868	-938	1030	2.640
	28	14.2	1	0.8	1.8	0.6	1.2	1110	-961	1090	3.590

（续）

类别	D /mm	d /mm	$t(t')$[①] /mm	h_0 /mm	H_0 /mm	$f\approx0.75h_0$					Q/ (kg/1000 片)
						f /mm	(H_0-f) /mm	F /N	σ_{OM}[②] /MPa	σ_{II}、σ_{III}[③] /MPa	
2	31.5	16.3	1.25	0.9	2.15	0.68	1.47	1920	−1090	1190	5.600
	35.5	18.3	1.25	1	2.25	0.75	1.5	1700	−944	1070	7.130
	40	20.4	1.5	1.15	2.65	0.86	1.79	2620	−1020	1130	10.95
	45	22.4	1.75	1.3	3.05	0.98	2.07	3660	−1050	1150	16.40
	50	25.4	2	1.4	3.4	1.05	2.35	4760	−1060	1140	22.90
	56	28.5	2	1.6	3.6	1.2	2.4	4440	−963	1090	28.70
	63	31	2.5	1.75	4.25	1.31	2.94	7180	−1020	1090	46.40
	71	36	2.5	2	4.5	1.5	3	6730	−934	1060	57.70
	80	41	3	2.3	5.3	1.73	3.57	10500	−1030	1140	87.30
	90	46	3.5	2.5	6	1.88	4.12	14200	−1030	1120	129.1
	100	51	3.5	2.8	6.3	2.1	4.2	13100	−926	1050	159.7
	112	57	4	3.2	7.2	2.4	4.8	17800	−963	1090	229.2
	125	64	5	3.5	8.5	2.63	5.87	30000	−1060	1150	355.4
	140	72	5	4	9	3	6	27900	−970	1100	444.4
	160	82	6	4.5	10.5	3.38	7.12	41100	−1000	1110	698.3
	180	92	6	5.1	11.1	3.83	7.27	37500	−895	1040	885.4
3	200	102	8(7.5)	5.6	13.6	4.2	9.4	76400	−1060	1250	1369
	225	112	8(7.5)	6.5	14.5	4.88	9.62	70800	−951	1180	1761
	250	127	10(9.4)	7	17	5.25	11.75	119000	−1050	1240	2687

① 表中给出的 t 是碟簧厚度的公称数值，t' 是第 3 类碟簧的实际厚度。

② σ_{OM} 是碟簧上表面 OM 点的计算应力。

③ 有“*”号的数值是在位置Ⅱ处的最大计算拉应力，无“*”号的数值是在位置Ⅲ处的最大计算拉应力。

表 2-49　系列 C（$D/t\approx40$，$h_0/t\approx1.3$，$E=206000\text{MPa}$，$\mu=0.3$）

类别	D /mm	d /mm	$t(t')$[①] /mm	h_0 /mm	H_0 /mm	$f\approx0.75h_0$					Q/ (kg/1000 片)
						f /mm	(H_0-f) /mm	F /N	σ_{OM}[②] /MPa	σ_{II}、σ_{III}[③] /MPa	
1	8	4.2	0.2	0.25	0.45	0.19	0.26	39	−762	1040	0.057
	10	5.2	0.25	0.3	0.55	0.23	0.32	58	−734	980	0.112
	12.5	6.2	0.35	0.45	0.8	0.34	0.46	152	−944	1280	0.251
	14	7.2	0.35	0.45	0.8	0.34	0.46	123	−769	1060	0.311
	16	8.2	0.4	0.5	0.9	0.38	0.52	155	−751	1020	0.466
	18	9.2	0.45	0.6	1.05	0.45	0.6	214	−789	1110	0.661
	20	10.2	0.5	0.65	1.15	0.49	0.66	254	−772	1070	0.912
	22.5	11.2	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	425	−883	1230	1.410
	25	12.2	0.7	0.9	1.6	0.68	0.92	601	−936	1270	2.060
	28	14.2	0.8	1	1.8	0.75	1.05	801	−961	1300	2.870
	31.5	16.3	0.8	1.05	1.85	0.79	1.06	687	−810	1130	3.580
	35.5	18.3	0.9	1.15	2.05	0.86	1.19	831	−779	1080	5.140
	40	20.4	1	1.3	2.3	0.98	1.32	1020	−772	1070	7.300
2	45	22.4	1.25	1.6	2.85	1.2	1.65	1890	−920	1250	11.70
	50	22.4	1.25	1.6	2.85	1.2	1.65	1550	−754	1040	14.30
	56	28.5	1.5	1.95	3.45	1.46	1.99	2620	−879	1220	21.50
	63	31	1.8	2.35	4.15	1.76	2.39	4240	−985	1350	33.40
	71	36	2	2.6	4.6	1.95	2.65	5140	−971	1340	46.20
	80	41	2.25	2.95	5.2	2.21	2.99	6610	−982	1370	65.50
	90	46	2.5	3.2	5.7	2.4	3.3	7680	−935	1290	92.20

（续）

类别	D /mm	d /mm	$t(t')$ ① /mm	h_0 /mm	H_0 /mm	$f\approx0.75h_0$					Q/ (kg/1000 片)
						f /mm	(H_0-f) /mm	F /N	σ_{OM} ② /MPa	$\sigma_{Ⅱ}$、$\sigma_{Ⅲ}$ ③ /MPa	
2	100	51	2.7	3.5	6.2	2.63	3.57	8610	−895	1240	123.2
	112	57	3	3.9	6.9	2.93	3.97	10500	−882	1220	171.9
	125	61	3.5	4.5	8	3.38	4.62	15100	−956	1320	248.9
	140	72	3.8	4.9	8.7	3.68	5.02	17200	−904	1250	337.7
	160	82	4.3	5.6	9.9	4.2	5.7	21800	−892	1240	500.4
	180	92	4.8	6.2	11	4.65	6.35	26400	−869	1200	708.4
	200	102	5.5	7	12.5	5.25	7.25	36100	−910	1250	1004
3	225	112	6.5(6.2)	7.1	13.6	5.33	8.27	44600	−840	1140	1456
	250	127	7(6.7)	7.8	14.8	5.85	8.95	50500	−814	1120	1915

① 表中给出的 t 是碟簧厚度的公称数值，t' 是第 3 类碟簧的实际厚度。

② σ_{OM} 是碟簧上表面 OM 点的计算应力。

③ 有“∗”号的数值是位置Ⅱ处的最大计算拉应力，无“∗”号的数值是位置Ⅲ处的最大计算拉应力。

表 2-50　碟形弹簧的计算公式

计算项目	计算公式
单片弹簧的负荷	$F=\dfrac{4E}{1-\mu^2}\cdot\dfrac{t^4}{K_1D^2}\cdot K_4^2\cdot\dfrac{f}{t}\left[K_4^2\left(\dfrac{h_0}{t}-\dfrac{f}{t}\right)\left(\dfrac{h_0}{t}-\dfrac{f}{2t}\right)+1\right]$
压平时的碟簧负荷计算值	$F_t=\dfrac{4E}{1-\mu^2}\cdot\dfrac{h_0t^2}{K_1D^2}\cdot K_4^2$
计算系数	$K_1=\dfrac{1}{\pi}\cdot\dfrac{[(C-1)/C]^2}{(C+1)/(C-1)-2/\ln C}$ $C=\dfrac{D}{d}$ $K_4=\sqrt{-\dfrac{C_1}{2}+\sqrt{\left(\dfrac{C_1}{2}\right)^2+C_2}}$ （无支承面碟簧的 $K_4=1$）
碟簧刚度	$F'=\dfrac{4E}{1-\mu^2}\cdot\dfrac{t^3}{K_1D^2}\cdot K_4^2\left\{K_4^2\left[\left(\dfrac{h_0}{t}\right)^2-3\dfrac{h_0}{t}\cdot\dfrac{f}{t}+\dfrac{3}{2}\left(\dfrac{f}{t}\right)^2\right]+1\right\}$
与变形量 f_z 对应的对合组合碟簧负荷	$F_z=F$
对合组合碟簧变形量	$f_z=if$ 式中　i——碟簧片数； f——单片碟簧变形量
对合组合碟簧自由高度	$H_z=iH_0$ 式中　H_0——单片碟簧自由高度(mm)
与变形量 f_z 对应的复合组合碟簧负荷	$F_z=nF$
复合组合碟簧变形量	$f_z=if$
复合组合碟簧自由高度	$H_z=i[H_0+(n-1)t]$
所需碟簧片数	$i=f_{z1}/f_1$ 式中　f_{z1}——总变形量(mm)
所需叠合组数	$i=f_{z1}/f_1$
受负荷 F_1 时的对合组合碟簧高度	$H_1=H_z-f_{z1}$
受负荷 F_{z1} 时复合组合碟簧高度	$H_1=H_z-if_{z1}$

蝶形弹簧的材料为65Mn、50CrVA、60Si2MnA等弹簧钢，经热处理后硬度为48～52HRC，中心杆容易磨损，一般采用45钢制造，经热处理后硬度为43～52HRC。

蝶形弹簧的选用方法与螺旋弹簧相同，根据卸料力和要求的压缩量，按表2-47～表2-49。

标记示例

① 一级精度，系列A，外径$D=100$mm的碟簧，标记为：碟簧A 100-1 GB/T 1972。

② 二级精度，系列B，外径$D=100$mm的碟簧，标记为：碟簧B 100 GB/T 1972。

（4）氮气弹簧　氮气弹簧是一种结构比较复杂的弹性元件。它是将高压氮气密封在缸体内，工作时，外力通过柱塞或活塞将氮气压缩；当外力去除时，靠高压氮气膨胀来获得一定的弹压力。

氮气弹簧国外在20世纪70年代以后逐渐普遍应用，在电子元器件模具、家用电器模具、五金模具、尤其是汽车覆盖件模具中应用广泛。氮气弹簧对于简化模具设计与制造，提高和稳定制件质量，具有独特的优点和良好的经济效果。

1）氮气弹簧的结构。氮气弹簧的结构如图2-47和图2-48所示，它主要由承受和产生弹压力的柱塞或活塞，组成气室的缸体和缸底，充气阀、氮气、导向环、动密封、静密封、螺堵、防止圈等组成。

通过充气阀给缸体内冲入氮气。氮气在缸内对活塞或柱塞施加压力，使柱塞或活塞沿着导向环向上运动达到工作状态，缸体的大小和施加的压力决定了氮气弹簧所能提供的弹压力。

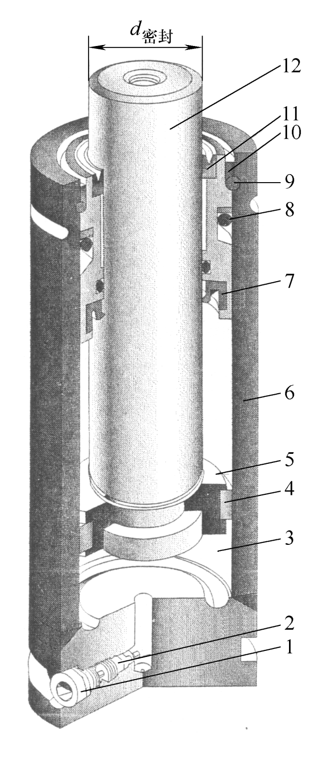


图2-47　柱塞密封式氮气弹簧

1—螺堵　2—充气阀　3—氮气　4—导向环　5—柱塞套　6—缸体　7—动密封　8—静密封　9—钢丝卡圈　10—防尘圈　11—防尘卡圈　12—柱塞

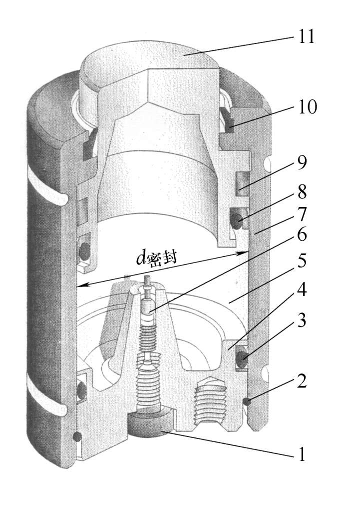


图2-48　活塞密封式氮气弹簧

1—螺堵　2—钢丝卡圈　3—静密封　4—缸底　5—氮气　6—充气阀　7—缸体　8—动密封　9—导向环　10—防尘圈　11—活塞

2）氮气弹簧的原理和基本参数

① 设计原理。氮气弹簧的设计是用安全、不可燃、干净、经济的氮气作为工作介质，它的工作过程近似认为是等温膨胀和压缩过程，其工作原理如图 2-49 所示，弹压力 F 的计算式为

$$F = p\frac{\pi d^2}{4} \tag{2-21}$$

式中 F——弹压力（N）；

d——柱塞杆直径（mm）；

p——缸内压力（Pa）。

② 基本性能参数。基本性能参数包括压力介质（氮气），最大充气压力（Pa），最小充气压力（Pa），工作环境温度（0～80℃），有效工作行程（mm），最大行程次数（次/min），柱塞或活塞的最大速度（m/s）。工作寿命：行程长度不大于 50mm，氮气弹簧的寿命约为 100 万次以上。

③ 特点。较小的空间可以产生较大的初始弹压力，无需预压，压力垫板与氮气弹簧接触时，可以达到预定弹压力。弹压力在整个模具行程中基本保持恒定。各种弹性元件的特性曲线比较如图 2-50 所示。从图 2-50 可知，氮气弹簧特别是对压边力要求比较高的情况下，使用非常方便安全可靠。

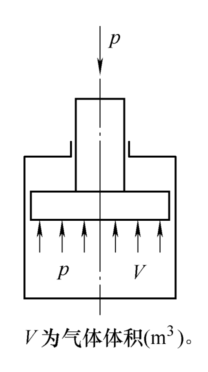


图 2-49　氮气弹簧工作原理

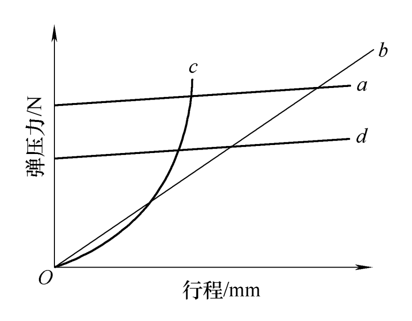


图 2-50　各种弹性元件特性曲线比较

a—氮气弹簧　*b*—螺旋弹簧　*c*—橡胶　*d*—气垫

3）氮气弹簧在冲模中的应用。氮气弹簧分为独立式和组合式，如图 2-51 所示，具有使用方便，安装和维修简单，安全可靠，使用寿命长等特点，在冲模中被推广使用。

① 在冲裁模中，用于卸料和顶件，当冲裁卸料力或顶件力较大时，采用氮气弹簧能有效解决模具空间小而卸料力大的矛盾，甚至可以将模座作为氮气弹簧的气室加以利用，减少氮气弹簧占有的空间。图 2-52 所示为氮气弹簧用于冲裁过程中的压料和顶件。当开始冲裁时，氮气弹簧顶着顶件板和落料凸模一起将条料压紧；当凸模继续下行，使条料在受压状态下进行冲裁，不但提高了冲裁件的断面质量，而且提高了冲裁件的直线度、平面度和平行度。当冲裁结束后，氮气弹

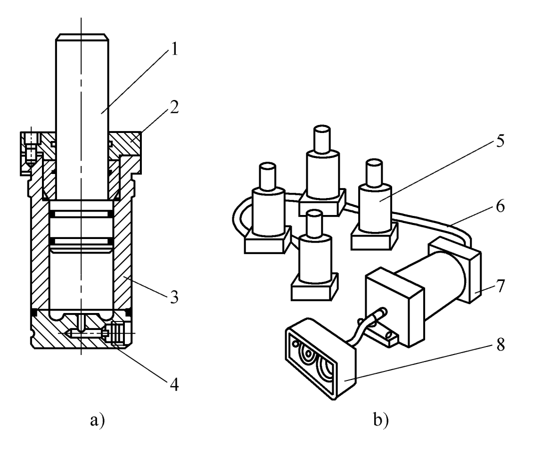


图 2-51　氮气弹簧的类型

a）独立式　b）组合式

1—柱塞　2—缸盖　3—缸筒　4—缸底　5—氮气弹簧　6—高压连接管　7—储气罐　8—控制罐

簧的弹压力通过顶件板将冲裁件从凹模中顶出，同时氮气弹簧的弹压力通过垫板、推杆、卸料板将条料从凸模上卸下。

②　在大型弯曲模中，氮气弹簧用于料的压紧，防止弯曲过程中料的滑移，弯曲成形后，弯曲件非常平稳地被顶出，尺寸精度和几何精度都比较好。

③　在拉深模中用于压边，保持压边力基本恒定。解决了螺旋弹簧、橡胶的弹压力随着拉深件高度的增加弹压力越大，容易造成拉深件材料变薄或拉裂的危险，因而提高了拉深件的质量稳定性。

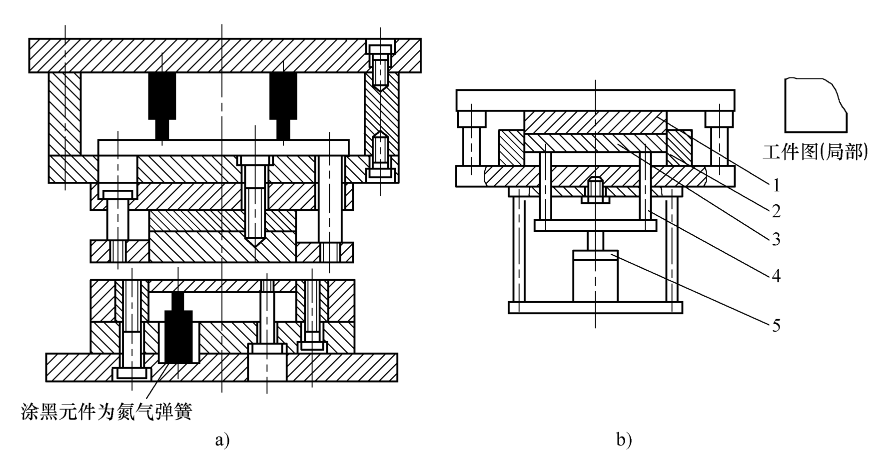


图 2-52　氮气弹簧用于冲裁过程中的压料和顶件

1—凸模　2—凹模　3—顶件板　4—顶杆　5—氮气弹簧

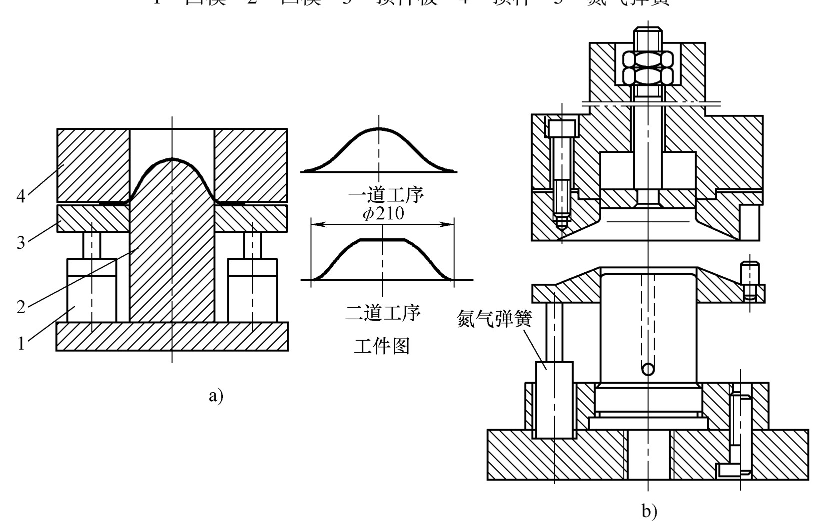


图 2-53　氮气弹簧在拉深模上应用的实例

a）在油压机上使用的模具结构　b）在压力机上使用的模具结构

1—氮气弹簧　2—凸模　3—压边圈　4—凹模

图 2-53 所示为氮气弹簧在拉深模上应用的实例。图 2-54 所示为微电动机外壳，图 2-55 所示为氮气弹簧在微电动机外壳多工位级进拉深模中的应用。该模具共有 15 个工位，分别为：①、②冲工艺切口；③为空工位；④首次拉深，该工位采用氮气弹簧用于压边；⑤、⑥第二次和第三次拉深；⑦为空工位；⑧预冲孔；⑨翻边成形；⑩侧向冲孔和缺口，采用氮气弹簧压料；⑪螺纹孔成形；⑫侧压成形；⑬空工位；⑭环形剖切，用氮气弹簧进行压料；⑮切断废料。

4）氮气弹簧的选用

①　氮气弹簧的数量

$$n = \frac{KF}{p_0}$$

式中　F——冲压力，如压边力、卸料力等（N）；

p_0——氮气弹簧额定压力（N）；

K——安全系数，取 $K=1.15 \sim 1.20$。

例：如拉深某制件，需压边力为100kN，应选120kN的氮气弹簧，如选择每个氮气弹簧的额定压力为20kN，则

$$n = \frac{1.2 \times 100\text{kN}}{20\text{kN}} = 6$$

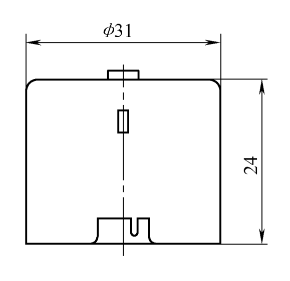


图2-54　微电动机外壳

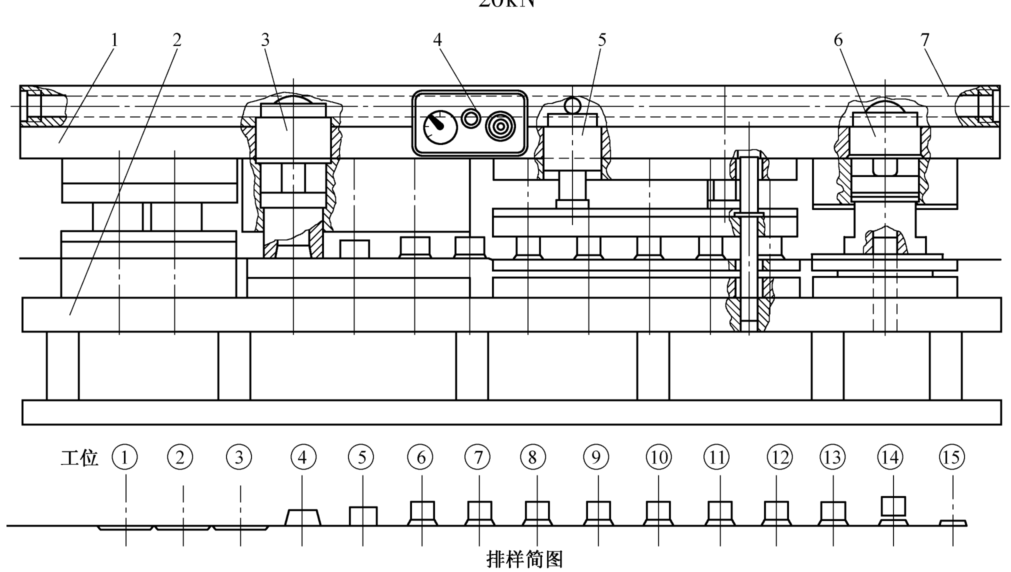


图2-55　氮气弹簧在微电动机外壳多工位级进拉深模中的应用

1—上模座　2—下模座　3、5、6—氮气弹簧　4—控制仪表　7—氮气弹簧座板

氮气弹簧的数量和额定压力之间有如下关系：额定压力小，数量多；额定压力大，数量小，见表2-51。如何选择氮气弹簧的数量，需考虑下列因素：①作力点布置要均匀，保持整个力系的平衡；②有利于制件的成形；③有利于模具的安装。

②　氮气弹簧行程的选择。不同的冲压工序要求冲压行程大小是不一样的，氮气弹簧的行程应满足冲压工序的具体要求。如分离工序的冲裁行程小，应选用小行程的氮气弹簧；拉深、弯曲工序的行程大，应选用大行程氮气弹簧。但行程大，氮气弹簧总高度大，稳定性差，且行程越大，它的价格也越高。

行程的选择要留有余量，绝对不能超过氮气弹簧的有效工作行程。为了保证氮气弹簧的使用寿命，在选择行程时要考虑留出10%的余量。对于冲裁工序，一般用于卸料或顶件，行程较小，应选行程 $S \leqslant 20\text{mm}$ 较为合理。对于拉深模，可按图2-56选取；对于弯曲模，可按图2-57选取。

表2-51　压料力为120kN时氮气弹簧压力与氮气弹簧数量之间的关系

组合序号	1	2	3	4	5	6	7	8
氮气弹簧压力/kN	2.5	5	10	15	20	30	40	60
氮气弹簧数量/个	48	24	12	8	6	4	3	2

（5）工业用普通橡胶　由于橡胶允许承受较大的负荷，且安装调整方便，取材又容易，在冲

模中被广泛应用于冲裁模的卸料，顶件的弹性元件；在弯曲模中用于压料，顶件的弹性元件；在拉深模中用于卸料、压料、顶件的弹性元件等。

使用时一般根据需要加工成一定形状和尺寸的零件，统称橡胶垫。如图 2-58 所示，且橡胶垫的单位压力与橡胶垫的压缩量、形状及尺寸有关。

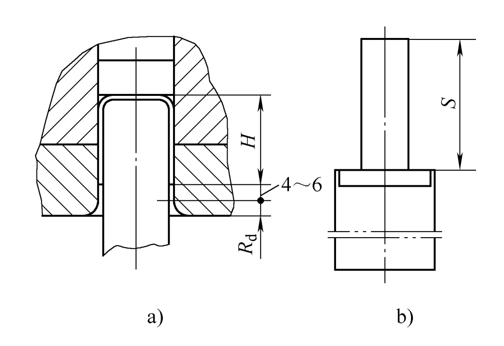


图 2-56　拉深时氮气弹簧行程的选择

a）拉深示意图　b）氮气弹簧

$S = R_d + (4 \sim 6) + H + (5 \sim 15)$

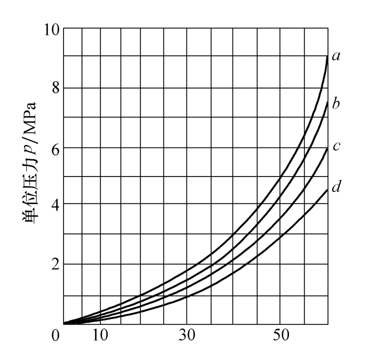
H—拉深件高度　R_d—凹模圆角半径　S—氮气弹簧行程

图 2-57　弯曲时氮气弹簧行程的选择

a）弯曲示意图　b）氮气弹簧

$S = R_d + (3 \sim 14) + H + (10 \sim 20)$

H—弯曲件高度　R_d—凹模圆角　S—氮气弹簧行程



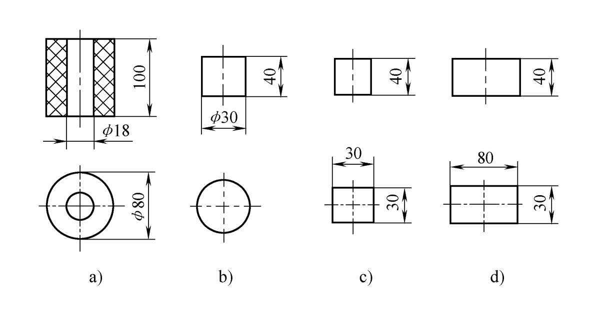


图 2-58　橡胶垫的形状与单位压力值

a）空心圆柱形　b）圆柱形　c）方形　d）矩形

橡胶工作时所产生的弹压力按下式计算

$$F = Ap \tag{2-22}$$

式中　F——橡胶工作时所产生的弹压力（N）；

A——橡胶的横截面积（mm^2）；

p——与橡胶压缩量有关的单位压力（MPa），见表 2-52。

表 2-52　橡胶压缩量与单位压力值

压缩量（%）	10	15	20	25	30	35
单位压力 p/MPa	0.2～0.4	0.3～0.7	0.4～1	0.8～1.4	1～1.8	1.2～2.3

使用橡胶时，不应使最大相对压缩量过大，避免橡胶过早失去弹性而损坏，其允许最大压缩量应不超过自由高度的 45%，一般按下式选取

$$h_1 = (0.35 \sim 0.45) H_0 \tag{2-23}$$

式中　h_1——橡胶允许最大压缩量（mm）；

H_0——橡胶在未受压力状态下的自由高度（mm）。

橡胶垫装在模具上后，为了保证有足够的预压力，通常应有一定的预压缩量 h，一般取 H_0

的 10% ~15%，即 $h=(0.1\sim0.15)H_0$

橡胶垫的工作行程 h' 为

$$h'=h_1-h=(0.25\sim0.30)H_0 \tag{2-24}$$

橡胶垫的自由高度为

$$H_0=(3.4\sim4)h' \tag{2-25}$$

在冲裁模中

$$h'=(t+1)+(4\sim6) \tag{2-26}$$

在弯曲模中

$$h'=R_d+h_0+l \tag{2-27}$$

或

$$h'=R_d+h_0+R_p+t \tag{2-28}$$

式中　R_d——弯曲凹模圆角半径（mm）；

l——弯曲件的高度（mm）；

h_0——凹模深度（mm），如图 4-82 所示；

R_p——弯曲凸模圆角半径（mm）。

在拉深模中

$$h'=R_d+(4\sim6)+H \tag{2-29}$$

橡胶垫的自由高度 H_0 与直径 D 之比必须满足下式

$$0.5\leqslant\frac{H}{D}\leqslant1.5$$

如果 $H/D>1.5$，应把橡胶分成若干段，并在橡胶之间垫上钢垫圈，常用断面的橡胶尺寸按表 2-53 中的公式计算。

表 2-53　常用断面的橡胶垫尺寸计算

橡胶垫形式				
计算公式	d—按结构选用 $D=\sqrt{d^2+1.27\frac{F}{p}}$	$D=\sqrt{1.27\frac{F}{p}}$	$a=\sqrt{\frac{F}{p}}$	$a=\frac{F}{bp}$ 或 $b=\frac{F}{ap}$

（6）聚氨酯橡胶

1）聚氨酯橡胶的主要性能。聚氨酯橡胶是聚酯型聚氨基甲酸酯和氨基甲酸乙酯橡胶的简称。它是一种优良的弹性元件材料，其特点是质量轻、弹性大、硬度高、耐磨、耐冲击、强度高且易于成形。其主要特性见表 2-52。使用时常将聚氨酯橡胶制造成带孔或不带孔的圆柱体或长方体，统称聚氨酯橡胶垫（图 2-59），在冲模中作为卸料、压料和顶件等。

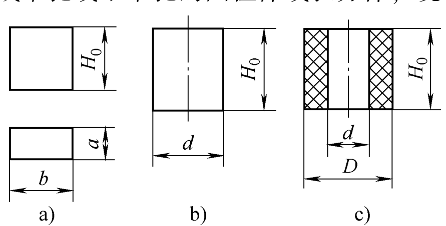


图 2-59　常用聚氨酯橡胶垫

a）长方体　b）圆柱体　c）空心圆柱体

聚氨酯橡胶的使用寿命比普通橡胶高得多，一般可达 20 万次以上。在相同尺寸的情况下，相同硬度的聚氨酯橡胶与普通橡胶比，聚氨酯橡胶所允许的承载能力要比普通橡胶大 6 ~8 倍。因此，当需承载压力一定时，利用聚氨酯橡胶作为弹性元件，可以减小弹性垫和模具的体积。

实验证明，在相同压缩量的情况下，相同硬度（HS70A）的聚氨酯橡胶比普通橡胶具有更大的弹性（图 2-60）。并且压缩时的应力和应变关系呈非线性，因而在冲模上被广泛应用。

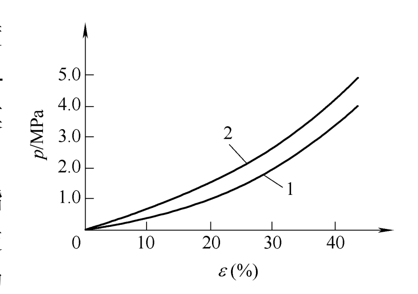


图 2-60　聚氨酯橡胶与普通橡胶承载能力的比较

1—普通橡胶（HS70A）

2—聚氨酯橡胶（SH70A）

2）聚氨酯橡胶弹性垫的尺寸及应用。各国家均有聚氨酯橡胶弹性垫的标准，我国的标准为 JB/T 7650.9—1995，规定的尺寸见表 2-55，聚氨酯橡胶弹性垫的压缩量与工作载荷的关系见表 2-56。

当使用聚氨酯橡胶弹性垫时，应注意下列两点：

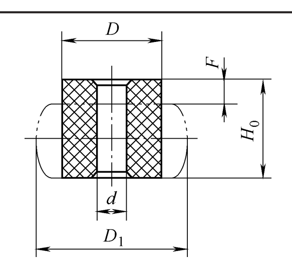
① 预压缩量应大于总高度 H_0 的 1%，即取预压缩量 $h=(0.1\sim0.3)H_0$。

② 当 $H_0/D>1.5$ 时，为防止失稳，应将 H_0 分成若干件，并在各件之间垫上一块 3～4mm 厚的钢垫板，以便弹性垫变形均匀。

表 2-54　聚氨酯橡胶的主要性能

项目	性能	项目	性能	项目	性能
密度/(g/cm³)	1.26～1.28	300%应变应力/MPa	10	反拔弹性(冲击回弹)/mm	15～30
肖氏硬度 HS(A)	83±5	伸长率(%)	450	适用温度/℃	−50～80
抗拉强度/MPa	43～45	抗裂强度/MPa	8	永久变形/mm	12

表 2-55　聚氨酯橡胶弹性垫尺寸　　（单位：mm）



H_0—自由状态下弹性垫的高度　D_1—在变形 $F=H_0/2$ 时的最大参考值　d—弹性垫的内孔直径

D	16	20	25		32			45				60				
d	6.5	8.5			10.5			12.5				16.5				
H_0	12		16	20	16	20	25	20	25	32	40	20	25	32	40	50
D_1	21	26	33		42			58				78				

表 2-56　聚氨酯橡胶弹性垫的压缩量与工作载荷的关系

压缩量 F/mm	外径 D/mm					
	16	20	25	32	45	60
	工作负荷/N					
$0.1H_0$	170	300	510	840	1820	3600
$0.2H_0$	400	620	1120	1820	3880	7730
$0.3H_0$	690	1080	1970	3220	6950	14380
$0.35H_0$	880	1390	2530	4120	8900	18430

注：表中工作负荷是硬度值为 HS80A±5 条件下的计算值，若采用其他硬度的聚氨酯的聚氨酯橡胶时，应乘以修正系数，修正系数见表 2-57。

表 2-57　弹压力修正系数

橡胶硬度 HS(A)	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
修正系数	0.843	0.873	0.903	0.934	0.996	1	1.035	1.074	1.116	1.212	1.27

第三章　冲　　裁

第一节　冲裁模间隙

一、间隙对冲裁件断面质量的影响

当凸、凹模间隙合适时，凸、凹模刃口附近沿最大切应力方向产生的裂纹将互相重合，此时冲出的冲裁件断面虽有一定斜度，但比较平坦光洁，塌角和毛刺也较小，有一定光亮带，完全可以满足一般冲裁件的要求，如图 3-1a 所示。

当凸、凹模间隙过小时，凸模刃口附近产生的裂纹比合适时的间隙向外错开一段距离，随着凸模下压、上、下裂纹将不会重合。凹模刃口附近产生的裂纹进入凸模压应力区而停止发展，凸模刃口附近产生的裂纹进入凹模上面的压应力区也停止发展。此时在两条裂纹相距最近的地方发生第二次拉裂，上裂纹表面压入凹模时，受到凹模孔壁的挤压产生第二光亮带，还有部分材料被挤出材料表面形成毛刺，但易去除。在两个光亮带之间形成撕裂面，断面和材料表面垂直，或斜度很小，塌角和翘曲也很小，因此，只要中间撕裂不是很深，仍可使用，如图3-1b 所示。

当间隙过大时，凸，凹模刃口附近产生的裂纹也不重合，凸模刃口附近产生的裂纹比合适的间隙向内错开一段距离。材料的弯曲与拉伸增大，拉应力增大，易产生剪裂纹，塑性变形阶段较早结束，致使断面光亮带减小，塌角与斜度增大，穹弯大，毛刺大且难以去除，冲裁件质量不理想，如图3-1c 所示。

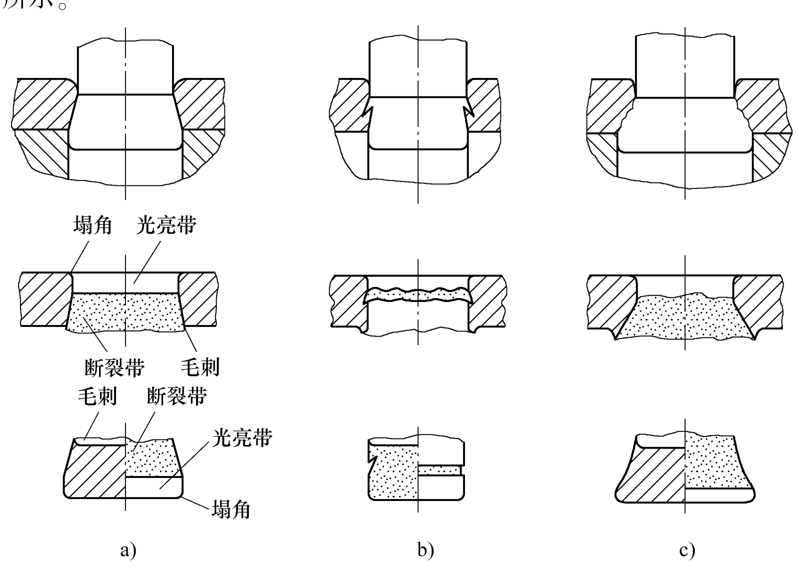


图 3-1　间隙对断面质量的影响

a）间隙适中　b）间隙过小　c）间隙过大

二、间隙对冲裁件尺寸精度的影响

间隙对冲裁件尺寸精度的影响如图 3-2 所示。δ 为冲裁件相对于凸，凹模的尺寸偏差，当 $\delta=0$ 时，表示冲裁件尺寸和凸、凹模尺寸完全一致。

当间隙较大时，材料所受的拉伸作用增大，冲裁后因材料的弹性恢复使落料件的尺寸小于凹

模尺寸，冲孔的尺寸大于凸模尺寸。间隙较小时，则由于材料受凸，凹模侧向挤压，故冲裁后材料的弹性恢复使落料件的尺寸大于凹模尺寸，冲孔件的尺寸小于凸模尺寸。

三、间隙对冲裁力及卸料力的影响

随着间隙的增大，材料所受的拉应力增大，材料容易拉断，冲裁力减小。但继续增大间隙，会使凸、凹模刃口处产生的裂纹不会重合，冲裁力下降变缓。加大间隙，冲裁力可降低5%～10%。

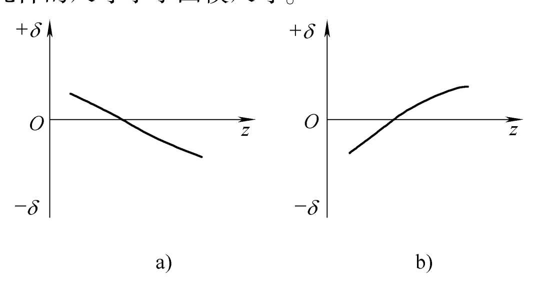


图3-2　间隙对冲裁件尺寸精度的影响
a）落料　b）冲孔

间隙对卸料力，推件力和顶件力的影响较显著。随着间隙的增大，卸料力、推件力和顶件力接近零。

四、间隙对模具寿命的影响

冲裁过程中，冲裁模的失效形式一般有磨损，崩刃和凹模洞口胀裂三种。

当间隙较小时，垂直力和洞口侧压力增大，摩擦力加大，加剧凸、凹模刃口的磨损；随后，二次剪切产生的金属碎屑又加剧刃口的磨损；冲裁后推件或顶件的滑动摩擦将再次造成刃口侧面的磨损。但间隙较小时，落料件（废料）的尺寸由于弹性恢复大于凹模尺寸，将紧紧阻塞于凹模洞口，容易将凹模洞口胀裂。间隙小时，凸模不可能绝对垂直于凹模的上平面，间隙也不会分布得绝对均匀。过小的间隙会造成凸模和凹模啃口甚至崩刃，所以，在满足制件要求的前提下，应尽量采用大间隙冲裁。

五、确定间隙的原则

凸、凹模间隙对冲裁件的断面质量，尺寸精度、冲裁力、卸料力、推件力和顶件力及模具寿命都有很大影响，要找到一个固定的间隙值同时满足上述要求是不可能的，因此在实际生产中，主要根据冲裁件的断面质量，尺寸精度和模具寿命这三个因素给间隙规定一个范围值，以满足冲裁件的设计要求。这个范围的最小值称为最合理间隙，最大值称为最大合理间隙。

确定间隙的方法有理论计算法和经验查表法两种。

用理论计算法确定间隙，是以冲裁时凸，凹模刃口处产生的裂纹相互重合为理论计算根据（图3-3）

$$z = 2(t - h_0)\tan\beta = 2t\left(1 - \frac{h_0}{t}\right)\tan\beta \qquad (3\text{-}1)$$

式中　t——材料厚度（mm）；

h_0——产生裂纹时凸模挤入材料的深度（mm）；

h_0/t——产生裂纹时凸模挤入材料的相对深度（mm）；

β——剪裂纹与垂直线间的夹角，一般为4～6。

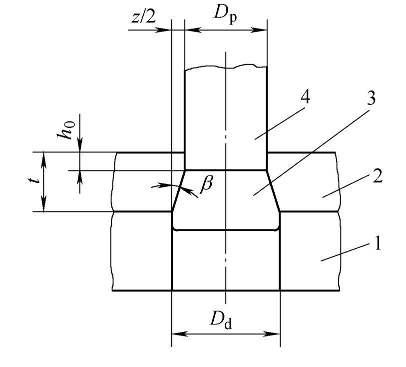


图3-3　理论计算法确定间隙依据
1—凹模　2—材料　3—制件　4—凸模

由于理论计算方法在生产中使用不便，因此可根据下述原则选用经验间隙：

1）冲裁件尺寸精度在IT11级以上，表面粗糙度值小于 Ra 1.6μm，采用普通冲裁模用小间隙冲裁，大多数情况下是难以达到要求的。一般宜采用光洁冲裁或冲裁后再整修，因推广使用精密冲裁。

2）冲裁件尺寸精度在IT12级以上，断面不允许有较大斜度时，一般采用表3-1所列的小间隙冲裁。但对材料厚度小于2mm的薄料和硬材料，由于断面状况不明显，为提高模具使用寿命，可在表3-1的基础上适当放大冲裁间隙（表3-2）。

3）冲裁件尺寸精度在 IT13 ~ IT15 级的非配合尺寸，以及断面无要求的冲裁件，为了提高模具的使用寿命，应采用大间隙冲裁。

此外，在高速冲裁和硬质合金冲裁模中，为了提高模具使用寿命，也应采用大间隙冲裁，大间隙冲裁见表 3-3。

表 3-1 小间隙冲裁 （单位：mm）

材料厚度 t	层压纸板 层压布板		铅、纯铜、纯铝		Q195、Q235、08F、10F、10、15、20、H62		45、50		65Mn、T7A、T8A	
	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}
0.20	0.006	0.01	0.006	0.012	0.008	0.014	0.008	0.016	0.012	0.020
0.25	0.007	0.012	0.007	0.015	0.010	0.017	0.010	0.020	0.015	0.025
0.30	0.009	0.015	0.009	0.018	0.012	0.021	0.012	0.024	0.018	0.030
0.40	0.012	0.020	0.012	0.024	0.016	0.028	0.016	0.032	0.024	0.040
0.50	0.015	0.025	0.015	0.030	0.020	0.035	0.020	0.040	0.030	0.050
0.60	0.018	0.030	0.018	0.036	0.024	0.042	0.024	0.048	0.036	0.060
0.70	0.021	0.035	0.021	0.042	0.028	0.049	0.028	0.056	0.042	0.070
0.80	0.024	0.040	0.024	0.048	0.032	0.056	0.032	0.064	0.048	0.080
0.90	0.027	0.045	0.027	0.054	0.036	0.063	0.036	0.072	0.054	0.090
1.0	0.030	0.050	0.030	0.060	0.040	0.070	0.040	0.080	0.060	0.100
1.1	0.033	0.055	0.033	0.077	0.055	0.088	0.066	0.110	0.088	0.132
1.2	0.036	0.060	0.036	0.084	0.060	0.096	0.072	0.120	0.096	0.144
1.3	0.039	0.065	0.039	0.091	0.065	0.104	0.078	0.130	0.104	0.156
1.4	0.042	0.070	0.042	0.098	0.070	0.112	0.084	0.140	0.112	0.168
1.5	0.045	0.075	0.045	0.105	0.075	0.120	0.090	0.150	0.120	0.180
1.6	0.048	0.080	0.048	0.112	0.080	0.128	0.096	0.160	0.128	0.196
1.8	0.054	0.090	0.054	0.126	0.090	0.144	0.108	0.180	0.144	0.216
2.0	0.060	0.100	0.060	0.140	0.100	0.160	0.120	0.200	0.160	0.240
2.1	0.063	0.105	0.063	0.147	0.105	0.168	0.126	0.210	0.168	0.252
2.2	0.066	0.110	0.066	0.154	0.110	0.176	0.132	0.220	0.176	0.264
2.5	0.075	0.125	0.075	0.175	0.125	0.200	0.150	0.250	0.200	0.300
2.8	0.084	0.140	0.084	0.196	0.140	0.224	0.168	0.280	0.224	0.336
3.0	0.090	0.150	0.090	0.210	0.150	0.240	0.180	0.300	0.240	0.360
3.2			0.160	0.288	0.192	0.256	0.256	0.384	0.320	0.448
3.5			0.175	0.315	0.210	0.350	0.280	0.420	0.350	0.490
4.0			0.200	0.360	0.240	0.400	0.320	0.480	0.400	0.560
4.5			0.225	0.405	0.270	0.450	0.360	0.540	0.450	0.630
5.0			0.250	0.450	0.300	0.500	0.400	0.600	0.500	0.700
6.0			0.300	0.540	0.360	0.600	0.480	0.720	0.600	0.800

表 3-2　适当放大的小间隙冲裁　　（单位：mm）

材料厚度 t	层压纸板 层压布板		铅、纯铜、纯铝		Q195、Q235、08F、10F、10、15、20、H62		45、50		65Mn、T7A、T8A	
	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}
0.20	0.008	0.016	0.008	0.016	0.012	0.020	0.016	0.024	0.020	0.028
0.25	0.010	0.020	0.010	0.020	0.015	0.025	0.020	0.030	0.025	0.035
0.30	0.012	0.024	0.012	0.024	0.018	0.030	0.024	0.036	0.030	0.042
0.40	0.016	0.032	0.016	0.032	0.024	0.040	0.032	0.048	0.040	0.056
0.50	0.020	0.040	0.020	0.040	0.030	0.050	0.040	0.060	0.050	0.070
0.60	0.024	0.048	0.024	0.048	0.036	0.060	0.048	0.072	0.060	0.084
0.70	0.028	0.056	0.028	0.056	0.042	0.070	0.056	0.084	0.070	0.098
0.80	0.032	0.064	0.032	0.064	0.048	0.080	0.064	0.096	0.080	0.112
0.90	0.036	0.072	0.036	0.072	0.054	0.090	0.072	0.108	0.090	0.126
1.0	0.040	0.080	0.040	0.080	0.060	0.100	0.080	0.120	0.100	0.140
1.1	0.055	0.099	0.055	0.099	0.088	0.132	0.110	0.154	0.132	0.176
1.2	0.060	0.108	0.060	0.108	0.096	0.144	0.120	0.168	0.144	0.192
1.3	0.065	0.117	0.065	0.117	0.104	0.156	0.130	0.182	0.156	0.208
1.4	0.070	0.126	0.070	0.126	0.112	0.168	0.140	0.196	0.168	0.224
1.5	0.075	0.135	0.075	0.135	0.120	0.180	0.150	0.210	0.180	0.240
1.6	0.080	0.144	0.080	0.144	0.128	0.192	0.160	0.224	0.192	0.256
1.8	0.090	0.162	0.090	0.162	0.144	0.216	0.180	0.252	0.216	0.288
2.0	0.100	0.180	0.100	0.180	0.160	0.240	0.200	0.280	0.240	0.320

表 3-3　大间隙冲裁　　（单位：mm）

材料厚度 t	Q195、Q235、08F、10F、10、15、20、H62		45、50		QSn6.5～0.1　65、70、60Si2MnA		65Mn、T7A、T8A	
	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}
0.20	0.024	0.036	0.032	0.044	0.030	0.040	0.036	0.048
0.25	0.030	0.045	0.040	0.055	0.037	0.050	0.045	0.060
0.30	0.036	0.054	0.048	0.066	0.045	0.060	0.054	0.072
0.40	0.048	0.072	0.064	0.088	0.060	0.080	0.072	0.096
0.50	0.060	0.090	0.080	0.110	0.075	0.100	0.090	0.120
0.60	0.072	0.108	0.096	0.132	0.090	0.120	0.108	0.144
0.70	0.084	0.126	0.112	0.154	0.105	0.140	0.126	0.168
0.80	0.096	0.144	0.128	0.176	0.120	0.160	0.144	0.192
0.90	0.108	0.162	0.144	0.198	0.135	0.180	0.162	0.216
1.0	0.120	0.180	0.160	0.220	0.150	0.200	0.180	0.240
1.1	0.165	0.220	0.220	0.286	0.198	0.264	0.242	0.308
1.2	0.180	0.240	0.240	0.312	0.216	0.288	0.264	0.336
1.3	0.195	0.260	0.260	0.338	0.234	0.312	0.286	0.364

（续）

材料厚度 t	Q195、Q235、08F、10F、10、15、20、H62		45、50		QSn6.5~0.1　65、70、60Si2MnA		65Mn、T7A、T8A	
	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}	z_{min}	z_{max}
1.4	0.210	0.280	0.280	0.364	0.252	0.336	0.308	0.392
1.5	0.225	0.300	0.300	0.390	0.270	0.360	0.330	0.420
1.6	0.240	0.320	0.320	0.416	0.288	0.384	0.350	0.448
1.8	0.270	0.360	0.360	0.468	0.324	0.432	0.396	0.504
2.0	0.330	0.400	0.400	0.520	0.360	0.840	0.440	0.560
2.1	0.315	0.420	0.420	0.546			0.462	0.588
2.2	0.330	0.440	0.440	0.572			0.484	0.616
2.5	0.375	0.500	0.500	0.650			0.550	0.700
2.8	0.420	0.560	0.560	0.728			0.616	0.784
3.0	0.450	0.600	0.600	0.780			0.660	0.840
3.2	0.576	0.768	0.704	0.896			0.768	0.960
3.5	0.63	0.840	0.770	0.980			0.840	1.050
4.0	0.72	0.960	0.880	1.12			0.960	1.200
4.5	0.81	1.080	0.99	1.26			1.080	1.350
5.0	0.90	1.200	1.10	1.40			1.200	1.500
6.0	1.08	1.440	1.32	1.68			1.440	1.800
8.0	1.60	2.08	1.92	2.40			2.08	2.560

第二节　排样和搭边

一、制件在条料或卷料上的排样

制件在条料或卷料上的布置方法叫排样。

1. 排样原则

1）提高材料利用率。材料利用率通常以一个步距内制件的实际面积与所用毛坯面积的百分比来表示。图中由制件结构形状产生的废料称为结构废料，排样时的制件与制件间和制件与条料侧边之间留下的废料称为工艺废料，如图3-4所示。料头、料尾和边余料也是工艺废料。要提高材料利用率，主要应从减少工艺废料入手。

结构废料　工艺废料

图3-4　废料的种类

$$\eta = \frac{A}{A_0} \times 100\% = \frac{A}{BS} \times 100\% \qquad (3\text{-}2)$$

式中　A——一个步距内制件的实际面积（mm^2）；

A_0——一个步距内所需的材料面积（mm^2）；

B——条料宽度（mm）；

S——步距（mm）。

若考虑料头、料尾和边余材料消耗，则一张板料（条料或卷料）上总的材料利用率为

$$\eta_0 = \frac{nA_1}{LB} \times 100\% \tag{3-3}$$

式中　n——一张板料（条料）上制件的总数目；

A_1——一个制件的实际面积（mm^2）；

L——板料（条料）长度（mm）；

B——板料（条料）宽度（mm）。

2）使工人操作方便、安全、减轻工人劳动强度。

3）使模具结构简单，模具寿命提高。

4）排样应保证制件质量。

2. 排样方法

排样有两种分类方法：一是从废料的角度分，可分为有废料排样、少废料排样和无废料排样三种；另一种是按制件在条件和卷料上的排列形式分，可分为直排、斜排、直对排、斜对排、混合排、多排、冲裁搭边等，见表 3-4。

表 3-4　排样方法

形式	有废料排样		少废料或无废料排样	
	简 图	应 用	简 图	应 用
直排		用于简单几何形状（方形、矩形、圆形）的冲件		用于矩形或方形冲件
斜排		用于 T 形、L 形、S 形、十字形、椭圆形冲件	第 1 方案	用于 L 形或其他形状的冲件，在外形上允许有不大的缺陷
直对排		用于 T 形、冂形、山形、梯形、三角形、半圆形的冲件	第 2 方案	用于 T 形、冂形、山形、梯形、三角形零件、在外形上允许有不大的缺陷
斜对排		用于材料利用率比直对排时高的情况		多用于 T 形冲件
混合排		用于材料及厚度都相同的两种以上的冲件		用于两个外形互相嵌入的不同冲件（铰链等）

（续）

形式	有废料排样		少废料或无废料排样	
	简 图	应 用	简 图	应 用
多排		用于大批生产中尺寸不大的圆形、六角形、方形、矩形冲件		用于大批生产中尺寸不大的方形、矩形及六角形冲件
冲裁搭边		大批生产中用于小的窄冲件（表针及类似的冲件）或带料的连续拉深		用于以宽度均匀的条料或带料冲制长形件

二、搭边和侧搭边

排样时制件与制件之间及制件与条料侧边之间留下的工艺废料称为搭边和侧搭边。

搭边虽然是废料，但它补偿了条料的剪裁误差、送料步距误差、定位误差，确保冲出合格的制件。搭边还可以增加条料的刚性，以保证送料顺利进行。

搭边值的大小取决于材料厚度、材料种类、冲件形状和尺寸以及卸料方法。

搭边值大小通常由经验确定，可查表 3-5 和表 3-6 选择。

表 3-5　弹压卸料搭边与侧搭边　（单位：mm）

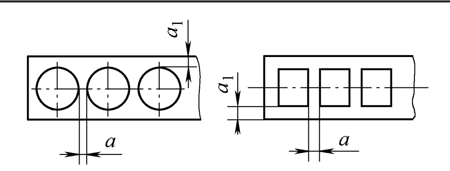


材料厚度 t	圆形或类似圆形制件		矩形或类似矩形制件长度 $L\leqslant50$		矩形或类似矩形制件长度 $L>50$	
	a	a_1	a	a_1	a	a_1
≤0.25	1.0	1.2	1.2	1.5	1.5～2.5	1.8～2.6
>0.25～0.5	0.8	1.0	1.0	1.2	1.2～2.2	1.2～2.5
>0.5～1	0.8	1.0	1.0	1.2	1.5～2.5	1.8～2.6
>1～1.5	1.0	1.3	1.2	1.5	1.8～2.8	2.2～3.2
>1.5～2	1.2	1.5	1.5	1.8	2～3	2.4～3.4
>2～2.5	1.5	1.9	1.8	2.2	2.2～3.2	2.7～3.2
>2.5～3	1.8	2.2	2.0	2.4	2.5～3.5	3～4
>3～3.5	2.0	2.5	2.2	2.7	2.8～3.8	3.3～4.3
>3.5～4	2.2	2.7	2.5	3.0	3～4	3.5～4.5
>4～5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5～4.5	4～5
>5～12	$0.5t$	$0.6t$	$0.6t$	$0.7t$	$(0.7\sim0.9)\ t$	$(0.8\sim1)\ t$

注：1. 对于矩形制件，其长度 $L=50\sim100$mm 时，a、a_1 取下限值；$L=100\sim200$mm 时，a、a_1 取中间值；$L>200$mm 时，a、a_1 取上限值。

2. 对于硬纸板、硬橡胶、布胶板、纸胶板，应乘系数 1.3。

表 3-6　固定卸料搭边与侧搭边　　（单位：mm）



材料厚度 t	圆形或类似圆形制件		矩形或类似矩形制件长度 $L \leqslant 50$		矩形或类似矩形制件长度 $L > 50$
	a	a_1	a	a_1	a 与 a_1
≤0.25	1.2	1.5	1.8	2.2	2.2～3.2
>0.25～0.5	1.0	1.2	1.5	2.0	2.0～3.0
>0.5～1	0.8	1.0	1.2	1.5	1.5～2.5
>1～1.5	1.0	1.2	1.2	1.8	1.8～2.8
>1.5～2	1.2	1.5	1.5	2.0	2.0～3.0
>2～2.5	1.5	1.8	1.8	2.2	2.2～3.2
>2.5～3	1.8	2.0	2.2	2.5	2.5～3.5
>3～3.5	2.0	2.2	2.5	2.8	2.8～3.8
>3.5～4	2.2	2.5	2.8	3.0	3.0～4.0
>4～5	2.5	2.8	3.0	3.5	3.5～4.5
>5～12	$0.5t$	$0.6t$	$0.6t$	$0.7t$	$(0.75～0.9)t$

注：1. 对于矩形制件，其长度 $L=50\sim100$mm 时，a、a_1 取下限值；$L=100\sim200$mm 时，a、a_1 取中间值；$L>200$mm 时，a、a_1 取上限值。

2. 对于硬纸板、硬橡胶、布胶板、纸胶板，应乘系数 1.3。

第三节　凸模与凹模工作部分尺寸计算

一、凸模与凹模工作部分尺寸计算的原则

1）从使用考虑，公称尺寸应以光亮带部分为基准，如不考虑弹性恢复，落料件的光亮带由凹模决定，落料时应以凹模为基准进行计算。冲孔时的光亮带由凸模决定，冲孔时应以凸模为基准进行计算。

2）凸、凹模在使用过程中都会磨损，凹模磨损后会增大落料件尺寸，凸模磨损后会减小冲孔尺寸。为了提高模具的使用寿命，在设计模具时，凹模的公称尺寸应取接近下极限尺寸，凸模的公称尺寸应取接近上极限尺寸。

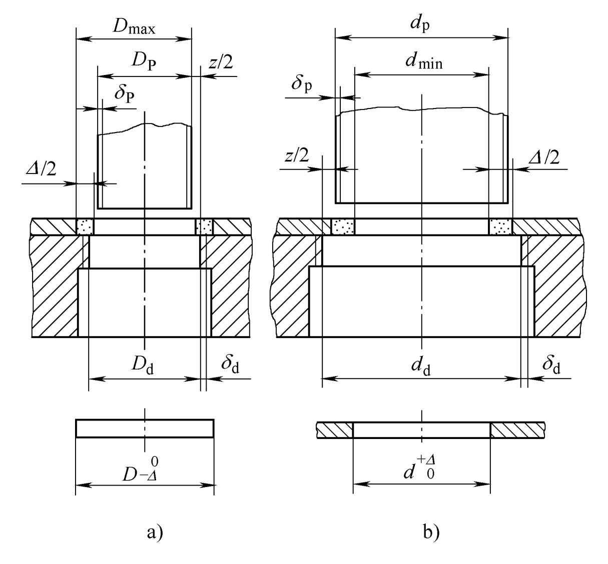


图 3-5　落料、冲孔时各部分尺寸与公差分布情况
a）落料　b）冲孔

3）在实际生产中，凸、凹模大多采用配作加工。另外，单独一个凹模洞口比较少，尤其在多工位级进模中，一块凹模上既有落料凹模洞口，又有冲孔凹模洞口或其他工序凹模洞口，一块凹模上有几个甚

至几十个凹模洞口（图 3-5），如按上述原则标注尺寸不但困难，也不合理，更无法加工。为便于加工，一般把落料凹模尺寸计算好后换算到凸模上去，凹模上不注形状尺寸，只注凹模洞口位置尺寸；同样，卸料板和凸模固定板也不注形状尺寸。

4）根据第三条原则，可得到如下示例：

凹模按凸模配作，双面最小间隙为 0.05mm；卸料板按凸模配作，双面间隙小于 0.1mm；固定板按凸模配作，过盈量小于 0.01mm；因而设计效率高，差错少，图面清晰，加工方便。

二、凸模与凹模工作部分尺寸计算的方法

计算方法一般分为两类：

1. 按凸模与凹模图样分别加工

这主要用于高效率、高精度、高寿命冲模中，其中有单工序落料模，大多数为多工序复杂级进模，凹模采用镶拼式结构，采用高精度机床加工，具有互换性。落料、冲孔时各部分尺寸及公差分布情况如图 3-5 所示。

（1）落料　图 3-6a 所示为落料件，图 3-6b 所示为冲制该落料件所用落料凹模刃口磨损情况，图 3-6 中虚线表示凹模刃口磨损后的尺寸变化情况。从图 3-6b 可看出，凹模刃口磨损后尺寸有变大、变小和不变三种情况，其计算按表 3-7 进行。

表 3-7　落料时凸模与凹模按图样加工计算方法

尺寸分类	计算公式
凹模磨损后变大的尺寸 A_1、A_2、A_3	$A_d=(A_{max}-X\Delta)^{+\delta_d}_{0}$ $A_p=(A_{max}-X\Delta-z_{min})^{0}_{-\delta_p}$
凹模磨损后变小的尺寸 B_1、B_2	$B_d=(B_{min}+X\Delta)^{0}_{-\delta_d}$ $B_p=(B_{min}+X\Delta+z_{min})^{+\delta_p}_{0}$
凸模磨损后无变化的尺寸（C_1、C_2、C_3） 冲裁件尺寸为 $C^{+\Delta}_{0}$ 冲裁件尺寸为 $C^{0}_{-\Delta}$ 冲裁件尺寸为 $C\pm\Delta$	$C_d=C_p=(C+0.5\Delta)\pm0.5\delta$ $C_d=C_p=(C-0.5\Delta)\pm0.5\delta$ $C_d=C_p=C\pm0.5\delta$

式中　A_d、B_d、C_d——相应凹模刃口尺寸（mm）
A_p、B_p、C_p——相应凸模刃口尺寸（mm）
A_{max}——冲裁件上极限尺寸（mm）
B_{min}——冲裁件下极限尺寸（mm）
X——系数，查表 3-9
C——冲裁件公称尺寸（mm）
Δ——冲裁件公差（mm）
δ_p、δ_d、δ——凸、凹模制造偏差（mm），按表 3-8 选取

表 3-8　凸、凹模制造偏差　（单位：mm）

尺寸精度	位置精度	步距精度
±0.001～0.01	±0.002～0.005	±0.001～0.005

表 3-9　系数 X 值

冲裁件精度等级	≤IT10	IT11～IT13	>IT14
X	1～1.2	0.75～0.8	0.5～0.6

注：精度高时必须采用小间隙冲裁。冲裁后的弹性恢复，孔的尺寸小于凸模尺寸，落料件的尺寸大于凹模尺寸。如按现有资料推荐取 $X=1$，都可能造成尺寸超差，因此，当制件公差很小时，应取 $X>1$。

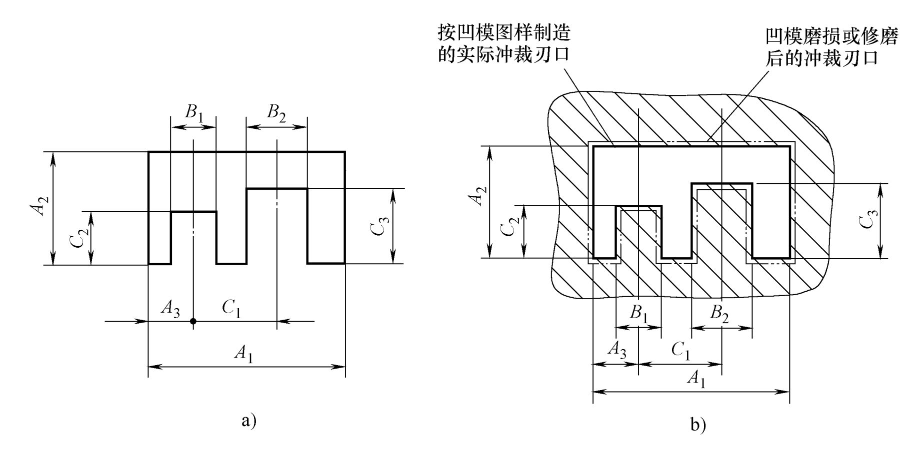


图 3-6　落料时凸、凹模尺寸计算

a）落料件　b）凹模刃口磨损情况

（2）冲孔　图 3-7a 所示为冲孔件，图 3-7b 所示为凸模刃口磨损情况，图 3-7 中虚线表示冲孔凸模刃口磨损后的尺寸变化情况。同样有变大、变小、不变三种情况，其计算按表 3-10 进行。

表 3-10　冲孔时凸模与凹模按图样加工计算方法　　（单位：mm）

尺寸分类	计算公式
凸模磨损后变小的尺寸 b_1、b_2、b_3	$b_p=(b_{min}+X\Delta)_{-\delta_p}^{0}$ $b_d=(b_{min}+X\Delta+z_{min})_{0}^{+\delta_d}$
凸模磨损后变大的尺寸 a_1、a_2	$a_p=(a_{max}-X\Delta)_{0}^{+\delta_p}$ $a_d=(a_{max}-X\Delta-z_{min})_{-\delta_d}^{0}$
凸模磨损后无变化的尺寸（C_1、C_2、C_3） 冲裁件尺寸为 $C_{0}^{+\Delta}$ 时 冲裁件尺寸为 $C_{-\Delta}^{0}$ 时 冲裁件尺寸为 $C\pm\Delta$ 时	 $C_p=C_d=(C+0.5\Delta)\pm0.5\delta$ $C_p=C_d=(C-0.5\Delta)\pm0.5\delta$ $C_p=C_d=C\pm0.5\delta$

式中　b_p、a_p、c_p——相应的凸模尺寸（mm）

b_d、a_d、c_d——相应的凹模尺寸（mm）

a_{max}——冲孔件上极限尺寸（mm）

b_{min}——冲孔件下极限尺寸（mm）

X——系数，查表 3-9 选取

C——冲孔件的公称尺寸（mm）

Δ——冲孔件公差（mm）

δ_p、δ_d、δ——凸、凹模制造偏差（mm），按表 3-8 选取

2. 凹模按凸模配作加工

本手册不采用其他手册或书本中推荐的“落料时凸模按凹模配作，冲孔时凹模按凸模配作”的方法，在实际生产中，包括发达工业国家，不论是冲孔还是落料都采用凹模按凸模配作，设计与制造变得方便。尤其在多工位级进模中，上文已述。

（1）落料　图 3-6a 所示为落料时凸、凹模尺寸计算采用凹模按凸模配作加工凸模尺寸计算按表 3-11 进行。

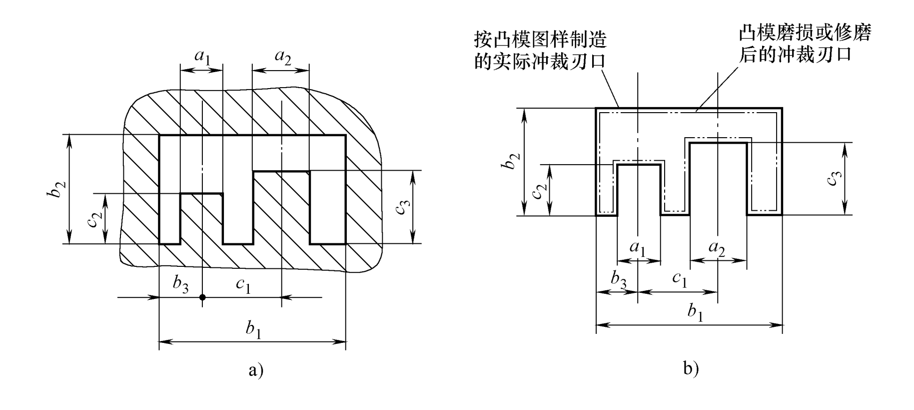


图 3-7 冲孔时凸、凹模尺寸计算

a）冲孔件 b）凸模刃口磨损情况

表 3-11 落料时凹模按凸模配作加工凸模尺寸计算方法 （单位：mm）

尺寸分类	计算公式
凹模磨损后变大的尺寸 A_1、A_2、A_3	$A_p = (A_{max} - X\Delta - z_{min})\ _{-\delta_p}^{0}$
凹模磨损后变小的尺寸 B_1、B_2	$B_p = (B_{min} + X\Delta + z_{min})\ _{0}^{+\delta_p}$
凹模磨损后无变化的尺寸（C_1、C_2、C_3） 冲裁件尺寸为 $C\ _{0}^{+\Delta}$ 时 冲裁件尺寸为 $C\ _{-\Delta}^{0}$ 时 冲裁件尺寸为 $C \pm \Delta$ 时	 $C_p = (C + 0.5\Delta) \pm 0.5\delta_p$ $C_p = (C - 0.5\Delta) \pm 0.5\delta_p$ $C_p = C \pm 0.5\delta_p$

式中 z_{min}——凹模按凸模配作时的双面间隙

A_p、B_p、C_p——相应的凸模刃口尺寸（mm）

A_{max}——冲裁件上极限尺寸（mm）

B_{min}——冲裁件下极限尺寸（mm）

X——系数按表 4-9 选取

C——冲裁件的公称尺寸

Δ——冲裁件公差

δ_p——凸模制造偏差，按表 3-12 选取

表 3-12 凸模制造公差 （单位：mm）

公称尺寸	~50	>50~120	>120~180	>180~315
公差	0.01~0.03	0.02~0.05	0.03~0.06	0.04~0.08

（2）冲孔 图 3-7 所示为冲孔时凸、凹模尺寸计算，采用凹模按凸模配作加工凸模尺寸计算见表 3-13。

表 3-13　冲孔时凹模按凸模配作加工凸模尺寸计算方法

尺寸分类	计算公式
凸模磨损后变小的尺寸 b_1、b_2、b_3	$b_p=(b_{min}+X\Delta)_{-\delta_p}^{0}$
凸模磨损后变大的尺寸 a_1、a_2	$a_p=(a_{max}-X\Delta)_{0}^{+\delta_p}$
凸模磨损后无变化的尺寸（c_1、c_2、c_3）	
当冲裁件尺寸为 $c_{0}^{+\Delta}$ 时	$c_p=(c+0.5\Delta)\pm0.5\delta_p$
当冲裁件尺寸为 $c_{-\Delta}^{0}$ 时	$c_p=(c-0.5\Delta)\pm0.5\delta_p$
当冲裁件尺寸为 $c\pm\Delta$ 时	$c_p=c\pm0.5\delta_p$

式中　z_{min}——凹模按凸模配作时的双面间隙

b_p、a_p、c_p——相应的凸模刃口尺寸（mm）

a_{max}——冲孔件的上极限尺寸（mm）

b_{min}——冲孔件的下极限尺寸（mm）

Δ——冲孔件公差（mm）

X——系数，按表 3-9 选取

δ_p——凸模制造偏差（mm），按表 3-12 选取

第四节　冲裁力和压力中心

一、冲裁力的计算

冲裁力及冲裁时所需的压力，是选择压力机的主要依据，也是冲模设计师必须计算的数据。

用普通平刃凸模冲裁时，冲裁力 F 一般按下式计算

$$F = kLt\tau \tag{3-4}$$

或

$$F = LtR_m \tag{3-5}$$

式中　F——冲裁力（N）；

L——冲裁件周长（mm）；

t——材料厚度（mm）；

R_m——抗拉强度（MPa）；

τ——材料抗剪强度（MPa）。

k——安全系数，考虑到实际冲压生产中，凸、凹模刃口钝化、间隙不均、材料力学性能和厚度的波度等因素的影响而给出修正系数，一般取 $k=1.3$。

二、卸料力、推件力和顶件力的计算

当采用小间隙冲裁时，冲裁后由于材料的弹性恢复，将使落料件或冲孔废料阻塞在凹模洞口，而条料则紧紧箍在凸模上。为使冲裁工作能继续进行，必须将箍在凸模上的条料卸下，将阻塞在凹模洞口的落料件或废料向下推出或向上顶出。从凸模上卸下紧紧箍在凸模上的条料所需的力称为卸料力；将阻塞在凹模洞口的落料件或废料向下推出所需的力称为推件力；逆着冲裁方向将落料件或废料从凹模洞口顶出所需的力称为顶件力，如图 3-8 所示。

卸料力、推件力和顶件力是从压力机、卸料装置或顶件装置中获得的，所以在选择压力机的公称压力时，应分别予以考虑。影响这些力的因素较多，主要与材料力学性能、材料厚度、模具

间隙、凹模洞口结构、搭边大小、冲裁件的形状与尺寸等有关。因此，要准确地计算这些力很困难，一般常用下列公式计算

卸料力　$F_X = K_X F$　(3-6)

推件力　$F_T = nK_T F$　(3-7)

顶件力　$F_D = K_D F$　(3-8)

式中　F——冲裁力（N）；

K_X、K_T、K_D——卸料力、推件力和顶件力的系数，见表3-14；

n——同时阻塞在凹模洞口内的落料件或废料数量，$n=\frac{h}{t}$，其中 h 为凹模洞口的直壁高度，t 为材料厚度。

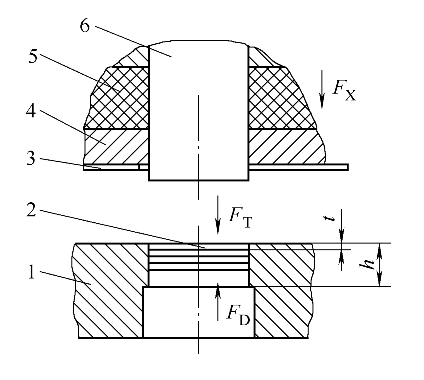


图 3-8　卸料力、推件力和顶件力

1—凹模　2—冲裁件　3—条料　4—卸料板　5—橡胶　6—凸模

表 3-14　卸料力、推件力和顶件力的系数

材料			K_X	K_T	K_D
钢	材料厚度 t/mm	≤0.1	0.06～0.075	0.1	0.14
		>0.1～0.5	0.045～0.055	0.065	0.08
		>0.5～2.5	0.04～0.05	0.050	0.06
		>2.5～6.5	0.03～0.04	0.045	0.05
		>6.5	0.02～0.03	0.025	0.03
纯铜、黄铜			0.020～0.06	0.03～0.09	
铝、铝合金			0.025～0.08	0.03～0.07	

三、压力机公称压力的确定

压力机的公称压力必须大于冲压力。冲裁时的冲压力 F_Z 由冲裁力、卸料力、推件力及顶件力组成，具体按下式计算

采用弹压装置和下出件方式冲裁时

$$F_Z = F + F_X + F_T \tag{3-9}$$

采用弹压装置和上出件方式冲裁时

$$F_Z = F + F_X + F_D \tag{3-10}$$

采用固定装置和下出件方式冲裁时

$$F_Z = F + F_T \tag{3-11}$$

但采用大间隙冲裁时，卸料力、推件力和顶件力都很小，可不予考虑。

四、降低冲裁力的方法

当冲裁材料较厚且冲裁件较大，所需的冲压力很大，而压力机的压力不够大时，可采用以下三种方法来降低冲压力。

1. 阶梯凸模冲裁

在多凸模冲裁中，将凸模设计成不同长度，可降低冲裁力。当凸模直径相差较大，相距又很近的情况下，为了避免小直径凸模由于承受材料流动的侧压力而产生折断或倾斜现象，也可采用阶梯布置，凸模间的高度差 H 取决于材料厚度，如图 3-9 所示。

$t<3\text{mm}$　　$H=t$

$t>3\text{mm}$　　$H=0.5t$

阶梯凸模冲裁的冲裁力，一般都按产生最大冲裁力的凸模进行计算。

2. 斜刃冲裁

斜刃冲裁如图 3-10 所示，为了获得平整的冲件，落料时应将斜刃做在凹模上，凸模为平刃。冲孔时则凹模为平刃，凸模为斜刃。斜刃还应对称布置，以免冲裁时模具承受单向侧压力而发生偏移，啃伤刃口。斜刃模一般用于大型零件冲裁，斜刃参数见表 3-15。

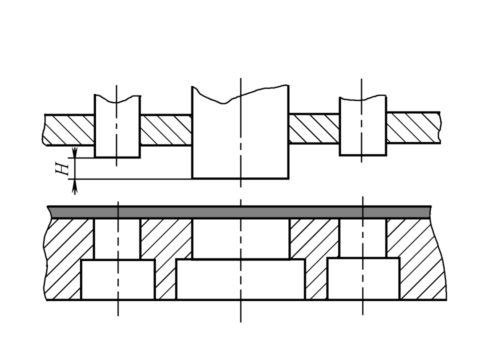


图 3-9　阶梯凸模冲裁

图 3-10　各种斜刃形式

a）、b）落料用　c）、d）、e）冲孔用

表 3-15　斜刃参数

材料厚度 t/mm	斜刃高度 H	斜角 φ
<3	$2t$	<5°
3～10	t	<8°

斜刃冲裁力可按下式计算

$$F_{斜} = K_{斜} Lt\tau \tag{3-12}$$

式中　$K_{斜}$——降低冲裁力系数，$H=t$ 时，$K_{斜}=0.4\sim0.6$；$H=2t$ 时，$K_{斜}=0.2\sim0.4$。

斜刃模可降低冲裁力使冲裁平稳，但凸、凹模制造复杂，刃口修磨也困难，只能用于冲裁大型且材料厚度较厚的零件。

3. 加热冲裁

材料在加热状态下，抗剪强度下降明显，所以加热冲裁能降低冲裁力；但加热后会产生氧化皮，且劳动条件差，只适用于冲裁厚料薄、表面质量和公差等级要求不高的冲裁件。一般不适用于多工序级进模，只适用于单工序模，不适用条料，只适用于块料，且是一件一件的冲裁。

表 3-16　钢在加热状态的抗剪强度 τ　（单位：MPa）

材料 \ 加热温度/℃	200	500	600	700	800	900
Q195、Q215、10、15	360	320	200	110	60	30
Q235、Q255、20、25	450	450	240	130	90	60
Q275、30、35	550	520	330	160	90	70
40、45、50	600	580	380	190	90	70

五、冲模压力中心的确定

冲压力合力的作用点称为冲模的压力中心。冲模的压力中心必须通过模柄轴线而与压力机滑

块的中心线重合。否则，冲压时滑块就会受到偏心载荷，导致滑块导轨和模具导向部分的磨损，还会使合理间隙得不到保证，从而降低冲裁件的质量和模具的寿命，甚至可能损坏冲模。

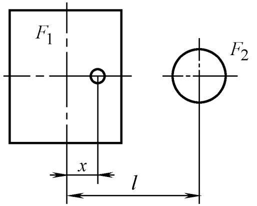


图 3-11　两个凸模的压力中心

简单对称冲裁件的压力中心就是它的几何中心，确定压力中心主要对复杂形状冲裁件，尤其是多工序的级进模才有意义。但多工序级进模有时计算非常复杂，所以一般凭经验估计压力中心，一般压力中心不能超出模柄直径之外。

常用解析法和作图法确定压力中心，具体如下：

1. 解析法

（1）冲孔落料级进模　简单的两个工位的冲裁模（图 3-11），其压力中心按下列公式计算

$$F_1 x = F_2(l - x)$$

$$x = \frac{F_2 l}{F_1 + F_2} \tag{3-13}$$

$$F_1 = KL_1 t\tau$$

$$F_2 = KL_2 t\tau$$

$$x = \frac{L_2 l}{L_1 + L_2} \tag{3-14}$$

（2）多凸模的压力中心（图 3-12）　由理论力学可知，合力对某轴的力矩等于各分力对同轴力矩之和。由此可求出压力中心坐标（x_0，y_0）。

$$F_1 = KL_1 t\tau$$

$$F_2 = KL_2 t\tau$$

$$\vdots$$

$$F_n = KL_n t\tau$$

$$F = F_1 + F_2 + \cdots + F_n$$

$$F_1 x_1 + F_2 x_2 + \cdots + F_n x_n = (F_1 + F_2 + \cdots + F_n) x_0$$

$$F_1 y_1 + F_2 y_2 + \cdots + F_n y_n = (F_1 + F_2 + \cdots + F_n) y_0$$

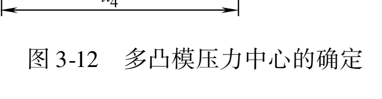


图 3-12　多凸模压力中心的确定

$$x_0 = \frac{F_1 x_1 + F_2 x_2 + \cdots + F_n x_n}{F_1 + F_2 + \cdots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} F_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i}$$

$$y_0 = \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2 + \cdots + F_n y_n}{F_1 + F_2 + \cdots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} F_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i}$$

将 F_1、F_2、…、F_n 值代入上式得

$$x_0 = \frac{L_1 x_1 + L_2 x_2 + \cdots + L_n x_n}{L_1 + L_2 + \cdots + L_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} L_i} \tag{3-15}$$

$$y_0 = \frac{L_1 y_1 + L_2 y_2 + \cdots + L_n y_n}{L_1 + L_2 + \cdots + L_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} L_i} \tag{3-16}$$

（3）复杂形状冲裁件的压力中心（图 3-13）

1）选定坐标轴 X、Y。

2）将组成图形的轮廓线划分为若干简单线段，求出各线段长度和各线的重心位置。

3）按式（3-15）和式（3-16）求出压力中心坐标（x_0，y_0）。

2. 作图法

作图法与解析法一样，既可求出多凸模冲裁件的压力中心，又可求出复杂冲裁件的压力中心，下面以多凸模为例进行说明，如图 3-14 所示。

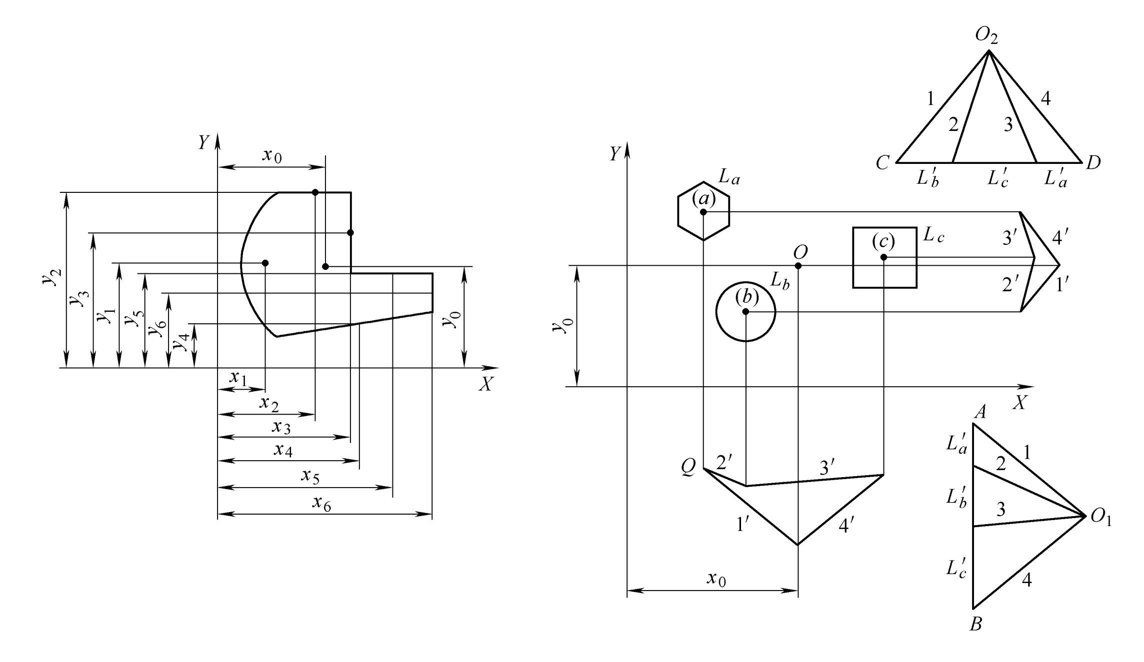


图 3-13　复杂形状冲裁件的压力中心　　　　图 3-14　作图法求多凸模冲裁件的压力中心

（1）按比例画出轮廓图形并确定坐标轴 X、Y

（2）算出各图形轮廓周长 L_a、L_b、L_c 并确定其重心位置

（3）压力中心横坐标 x_0 的作图方法

1）在坐标系旁作一条平行于 Y 轴的直线 AB，从 A 点开始，依次截取 L'_a、L'_b、L'_c。其顺序按图形至 Y 轴由近到远的顺序，其长度按比例等于对应轮廓线的长度 L_a、L_b、L_c。

2）在线段 AB 旁取任意点 O_1，从 O_1 点作射线 1、2、3、4 分别与代表冲裁力的各线段（L'_a、L'_b、L'_c）首尾相连。

3）由各图形的重心位置出发，作 Y 轴的平行线至图外；然后以距 Y 轴最近的一条平行线上任意点 Q 为起点，作射线 1 的平行线 1′，由该起点 Q 再作射线 2 的平行线 2′，过下一交点依次作射线 3、4 的平行线 3′、4′；1′线与 4′线的交点，即为压力中心的横坐标 x_0。

4）用相同的方法作出压力中心的纵坐标 y_0。注意截取线段与作图都要按距 X 轴从近到远的顺序。

5）纵横坐标交点 O（x_0、y_0）即为压力中心。

第五节　无废料或少废料冲裁

一、优缺点

1. 优点

1）材料利用率高。

2）有利于合并工序及一模多件，生产率高。

3）可以简化凹模型孔，模具制造简单。

4）能降低冲压力。

2. 缺点

主要缺点是冲裁件断面质量和尺寸精度低，尤其是无废料冲裁，不适宜用于冲裁件精度要求高的制件。

二、制件所能达到的精度

1. 单边剪切对制件剪切表面质量的影响

在无废料或少废料冲裁中，最常用的是单边剪切，单边剪切时的受力情况如图3-15所示。当无压板时如图3-15a所示，凸模和凹模刃口陷进材料所产生的力矩Fa将使被剪切材料旋转一个α角，此时刃口压陷区X的大小在（0.5～0.7）t范围内，这时由剪切产生的侧压力F_1促使刃口偏离原来位置而造成刃口的间隙增大，因而造成制件剪切表面质量降低和产生毛刺。

a)　　b)

图3-15　单边剪切时的情况

a）没有压料板　b）有压料板

在没有压板的剪切中，对于$t<3$mm的金属材料，当间隙合适时，其剪切面的表面粗糙度值为Ra 20～25μm。如采用压板剪切（图3-15b），被剪切材料的扭转力矩受到约束，侧压力F_1降低，因而剪切面的表面粗糙度值可达Ra 6μm。采用单边剪切时，制件断面对材料表面有一定的倾斜。

2. 外形尺寸精度

单边剪切的尺寸精度见表3-17，对称剪切的尺寸精度见表3-18。

3. 孔距的精度

从受约束的基准面到孔中心的距离（图3-16尺寸a）所能达到的精度见表3-19，从自由的基准面到孔中心的距离（图3-16尺寸b）所能达到的精度见表3-20。

表3-17　单边剪切的尺寸精度　　（单位：mm）

材料厚度 t	精度等级	
	有压料板冲裁	无压料板冲裁
>0.5～2.0	13～14	14～15
>2.0～4.0	14～15	15～16
>4.0～6.0	15～16	16

注：1. 模具按8级精度制造。

2. 前面数值用于新模具冲制的制件，后面用于磨损后的制件。

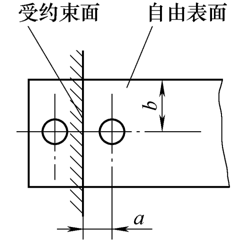


图3-16　孔距的精度

表 3-18　对称剪切的尺寸精度　　（单位：mm）

材料厚度 t	制件尺寸		
	≤10	>10~50	>50~180
>0.5~1.0	$^{0}_{-0.12}$	$^{0}_{-0.16}$	$^{0}_{-0.22}$
>1.0~2.0	$^{0}_{-0.18}$	$^{0}_{-0.22}$	$^{0}_{-0.30}$
>2.0~4.0	$^{0}_{-0.24}$	$^{0}_{-0.28}$	$^{0}_{-0.40}$

表 3-19　从受约束的基准面到孔中心的距离所能达到的精度　　（单位：mm）

冲模和条料定位形式		从基面到孔中心距离	
		≤20	>20~50
复合式		±0.03	±0.05
级进式	带有侧刃和导正销	±0.10	±0.15
	带有固定挡料销和导正销	±0.15	±0.20
	带有固定挡料销无导正销	±0.20	±0.40

表 3-20　从自由的基面到孔中心的距离所能达到的精度　　（单位：mm）

冲模形式	从基准面到孔中心距离	
	≤20	>20~50
有侧压装置	±0.15	±0.2
无侧压装置	±0.35	±0.5

注：有定位的基准面到孔中心的距离所能达到的精度可以提高。

为了得到质量好的剪切面和比较高的尺寸精度，在采用无废料或少废料冲裁时应注意下列几点：

1）材料厚度一般不大于 3mm。

2）薄材料进行无废料冲裁时，最好采用滚剪下料，以提高制件两侧的尺寸精度。

3）对于剪床下料的条料，冲裁时最好采用侧压装置。

4）为了获得良好的剪切表面，尽可能采用双边剪切，如图 3-18 所示。

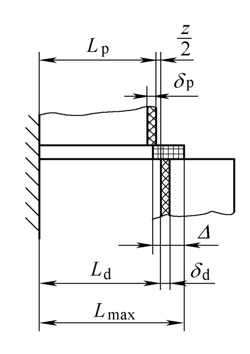


图 3-17　单边剪切时凸、凹模尺寸关系

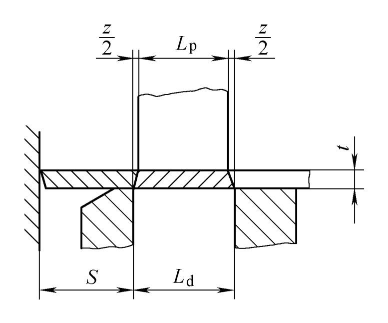


图 3-18　双边剪切时凸、凹模尺寸关系

5）在单边剪切中，为减少扭转力矩和刃口陷区，应采用压料装置。

三、无废料或少废料冲模设计要点

1. 凸模与凹模的形式与尺寸计算

在单边剪切中（图 3-17），落料比较通畅，凹模一般制造成直刃口。对于有固定挡料装置的模具，凹模和凸模尺寸按下式计算

$$L_d = (L_{max} - X\Delta)^{+\delta_d}_{0} \tag{3-17}$$

$$L_p = \left(L_{max} - X\Delta - \frac{z_{min}}{2}\right)^{0}_{-\delta_p} \tag{3-18}$$

式中 L_d、L_p——凹模和凸模的公称尺寸（mm）；

L_{max}——制件的上极限尺寸（mm）；

Δ——制件公差（mm）；

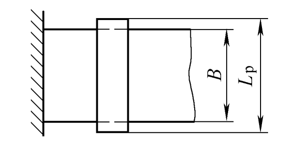
X——系数，$X = 0.6 \sim 0.8$；

δ_d、δ_p——凸模和凹模的制造偏差（mm），$\delta_d \approx 0.6\ (z_{max} - z_{min})$，$\delta_p \approx 0.4\ (z_{max} - z_{min})$。

在双边剪切中（图 3-18），凹模与凸模的计算方法与一般落料模相同，但凹模洞口距挡料块的距离 S 不等于 L_d，S 值按下式计算

$$S = L_d - \frac{z_{min}}{2} \tag{3-19}$$

无废料冲裁时，凸模的宽度 L_p 应大于条料宽度 1～2mm，如图 3-19 所示。



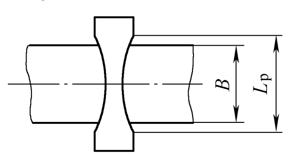


图 3-19　无废料冲裁时凸模宽度

注：B 为条料宽度

在无废料冲孔落料级进模冲裁时，步距的尺寸按下式计算，如图 3-20 所示。

$$l = L_d - \frac{z_{min}}{2} \tag{3-20}$$

$$b = \frac{L_d - z_{min}}{2} \tag{3-21}$$

2. 单边剪切工作部分结构

在单边剪切中，为了便于修理和节约材料，凹模可做成镶拼式结构，凸模应有可靠的导向和反侧压力措施，如图 3-21 所示。各尺寸的关系应满足

$$h \geqslant 2R + 1.5t$$

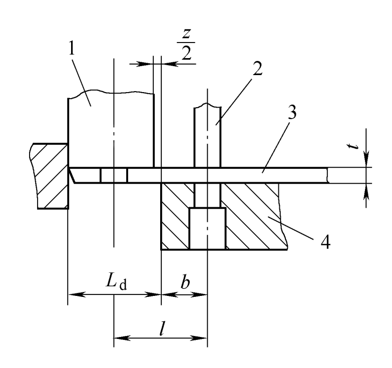


图 3-20　无废料冲孔落料级进模步距计算

1、2—凸模　3—条料　4—凹模

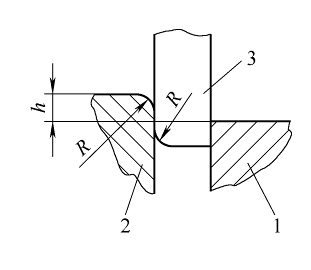


图 3-21　单边剪切工作部分结构

1—凹模　2—反侧压板　3—凸模

3. 制件的排除方法

制件的排除方法如图 3-22 所示，图 3-22a 由落料孔中排除，图 3-22b 由侧面排除，图 3-22c 用于双边剪切时制件的排除，α 通常取 30°~45°，h 值见表 3-21。

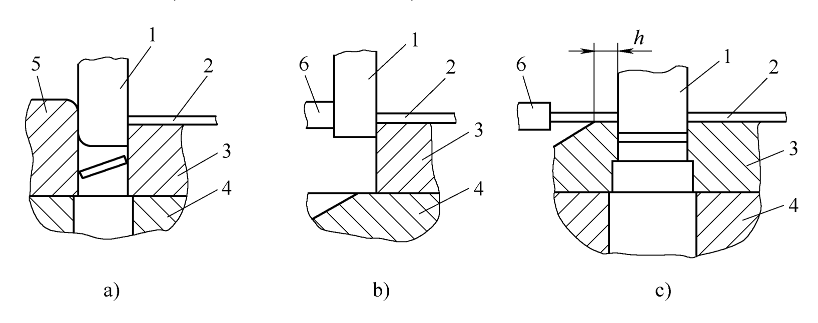


图 3-22　制件的排除方法

1—凸模　2—条料　3—凹模　4—下模座　5—反侧压板　6—定位块

表 3-21　系数 h　　（单位：mm）

材料厚度 t	≥0.5~1	>1~2	>2~4
h	2~3	4~6	8~12

四、无废料或少废料冲裁排样示例（表 3-22）

表 3-22　无废料或少废料冲裁排样示例

序号	排样示例	应用
1		用少废料排样在压力机一次行程中冲裁 5 个制件
2		用无废料排样在压力机一次行程中冲裁 2 个制件
3		用无废料排样在压力机一次行程中冲裁 5 个制件
4		用无废料排样在压力机一次行程中冲裁 1 个制件
5		用无废料排样在压力机一次行程中冲裁 2 个制件

（续）

序号	排样示例	应用
6		用于两个外形互相嵌入的不同制件
7		用少废料排样完成冲槽和落料同时完成两个制件
8		用少废料排样冲制较长制件

第六节　非金属材料冲裁

非金属材料的冲裁方法通常有两种，即普通冲裁模冲裁和尖刃凸、凹模冲裁。

一、层压板的冲裁

1. 冲裁时加热规范

层压板主要有酚醛层压布板、层压纸板、层压玻璃布板等，通常采用普通冲裁模冲裁。当厚度大于 1.5mm 时，为了避免冲裁时引起分层和开裂，均需加热冲裁，加热规范见表 3-23。

表 3-23　层压板冲裁加热规范

材料	加热温度/℃	加热时间
层压纸板	80 ~ 90	按料厚每毫米为 5 ~ 8min
层压布板	80 ~ 90	按料厚每毫米为 5 ~ 8min
层压玻璃布板	110 ~ 130	按料厚每毫米为 3 ~ 5min

2. 非金属材料冲裁凸、凹模尺寸计算

（1）非常温情况　非金属材料冲裁弹性变形大，一般情况下，制件离开凹模后外形胀大，离开凸模后内孔缩小，还有加热冲裁后制件冷却收缩和干燥收缩使制件尺寸产生变化。凸、凹模工作部分尺寸可按下式计算：

1）落料

$$D_d = (D_{max} - 0.5\Delta + \delta_1)^{+\delta_d}_{0} \tag{3-22}$$

用普通冲裁模冲裁时换算到凸模上

$$D_p = (D_{max} - 0.5\Delta + \delta_1 - z_{min})^{0}_{-\delta_p} \tag{3-23}$$

2）冲孔

$$d_p = (d_{min} + 0.5\Delta + \delta_2)^{0}_{-\delta_p} \tag{3-24}$$

3）孔中心距

$$L_d = L_p = (L_{max} - 0.5\Delta + \delta_3) \pm \delta_d/2 \tag{3-25}$$

式中　D_d——落料凹模公称尺寸（mm）；

　　D_p——落料凸模公称尺寸（mm）；

d_p——冲孔凸模公称尺寸（mm）；

δ_1——落料时的平均收缩量 $\delta_1 = aD_{max} - A$；

δ_2——冲孔时的平均收缩量 $\delta_2 = bd_{min} + A$；

δ_3——冲孔中心距平均收缩量 $\delta_3 = cL_{max} - A$；

A——材料弹性变形系数，见表3-24；

a、b、c——温度收缩系数，见表3-25；

L_d、L_p——孔中心距公称尺寸（mm）；

L_{max}——孔中心距最大尺寸（mm）；

D_{max}——落料件上极限尺寸（mm）；

d_{min}——冲孔件下极限尺寸（mm）；

δ_d、δ_p——凹、凸模制造公差；

Δ——制件公差。

表3-24　材料弹性恢复量

常温下冲裁	纸胶板 $A = 0.04t$	布胶板 $A = 0.05t$
加热冲裁	纸胶板和玻璃布板 $A = (0.01 \sim 0.03)\ t$	布胶板 $A = (0.03 \sim 0.05)\ t$

表3-25　系数 a、b、c 的值　　（单位：mm）

材 料	材料厚度 t	a	b	c
层压纸板	1	0.0020	0.0025	0.03
	1.5	0.0022	0.0030	0.05
	2.0	0.0025	0.0035	0.07
	2.5	0.0027	0.0040	0.10
	3.0	0.0030	0.0050	0.12
层压布板	2.0	0.0020	0.0026	0.08
	2.5	0.0025	0.0030	0.12
	3.0	0.0028	0.0036	0.15

（2）常温情况　常温下冲裁时，a、b、c 都等于零，只有弹性恢复量 A，这时，凸、凹模刃口尺寸按下式计算：

1）落料

$$D_d = (D_{max} - 0.5\Delta - A)^{+\delta_d}_{0} \tag{3-26}$$

换算到凸模上

$$D_p = (D_{max} - 0.5\Delta - A - z_{min})^{0}_{-\delta_p} \tag{3-27}$$

2）冲孔

$$d_p = (d_{min} + 0.5\Delta + A)^{0}_{-\delta_p} \tag{3-28}$$

3）孔中心距

$$L_d = L_p = (L_{max} - 0.5\Delta) \pm \delta_d/2 \tag{3-29}$$

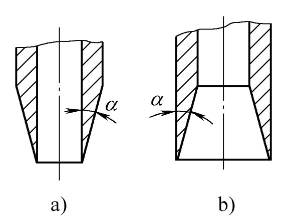


图3-23　尖刃凸、凹模
a）凹模　b）凸模

二、其他非金属材料的冲裁

其他非金属材料主要指纸、软纸板、毛毡、棉绸纺织品、各种人造纤维布、橡胶板、皮革、塑料薄膜等。通常用尖刃凸、凹模在常温下冲裁。尖刃凸、凹模的形式有两种（图3-23），α 角按表3-26选

取。尖刃凸、凹模的落料模和复合模如图 3-24 和图 3-25 所示。凸、凹模一般采用碳素工具钢 T8A 制造，淬火、回火后的硬度为 50 ~ 55HRC。

表 3-26　尖刃凸、凹模的 α 值

材 料	α
棉绸纺织品、各种人造纤维布、塑料薄膜、人造革、皮革、毛毡、橡胶板、软纸	12° ~ 16°
纸板、石棉纸	14° ~ 18°
橡胶石棉板	20° ~ 25°

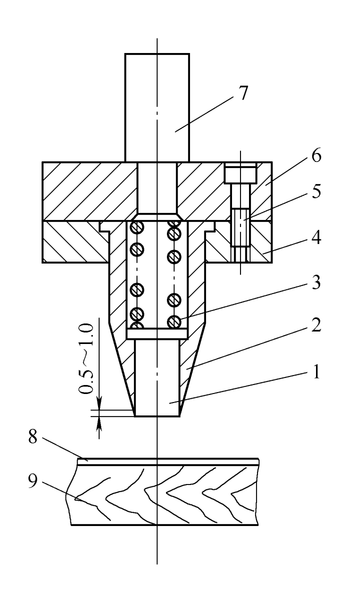


图 3-24　落料模

1—推件块　2—尖刃凹模　3—弹簧　4—固定板　5—螺钉　6—上模座　7—模柄　8—材料　9—硬杂木板（凸模）

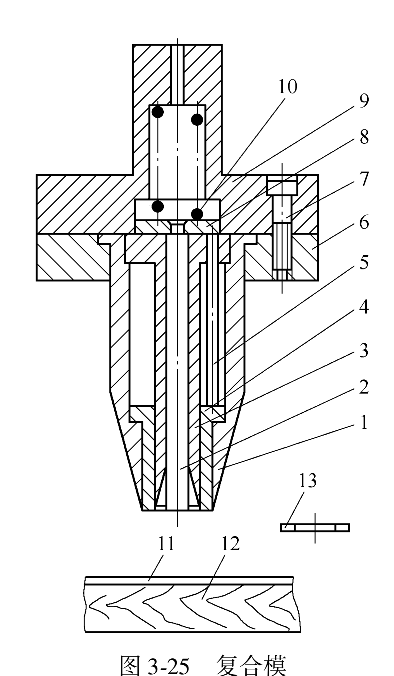


图 3-25　复合模

1—凹模　2—推杆　3—凸模　4—推件套　5—连接推杆　6—固定板　7—螺钉　8—推板　9—上模座　10—弹簧　11—材料　12—硬杂木板（凸凹模）　13—制件

第七节　光洁冲裁与整修

一、常用光洁冲裁方法

1. 小间隙圆角凹模冲裁

凹模圆角可先取 $R0.1 \sim R0.3$mm，并可逐渐加大修正，一般不超过 1mm。凹模刃口和圆角处的表面粗糙度值为 Ra 0.05 ~ 0.1μm，凸模和凹模之间的间隙不大于 0.01mm。由于凹模刃口有圆角，因而在凹模刃口处不产生剪切断面。用此法冲出的制件，表面粗糙度值可达 Ra 1.6 ~ 0.4μm，尺寸精度可达 IT8 ~ IT10 级。由于采用小间隙冲裁，制件从凹模中推出后，由于弹性恢复，尺寸会增大 0.02 ~ 0.05mm。这种方法主要用于塑性好的非铁金属及低碳钢。

2. 采用负间隙冲裁

采用负间隙冲裁的凸模尺寸比凹模尺寸大（0.1 ~ 0.2）t，凹模和小间隙圆角凹模一样。这种方法适用于塑性好的非铁金属。冲裁时，冲模闭合后，凸模应与凹模上平面保持 0.1 ~ 0.2mm

的距离。用此法所得的制件，表面粗糙度值可达 Ra 0.8 ~ 0.4μm。尺寸精度可达 IT8 ~ IT10 级，冲裁后由于弹性恢复，尺寸会增大 0.02 ~ 0.05mm。但冲裁力为普通冲裁的 1.5 ~ 2.5 倍。

3. 用有椭圆角的凸模冲孔

该方法主要用于低碳钢及非铁金属的冲裁，孔径一般大于 $3t$，所得制件质量和前两种方法相似。

二、整修

整修是一种提高冲裁件外缘与内孔精度和断面质量的工艺方法。整修时切除冲裁件切断面上的余量以后，冲裁件一般可获得 IT8 ~ IT6 级精度，表面粗糙度值可达 Ra 0.8 ~ 0.4μm，整修过程如图 3-26 所示。

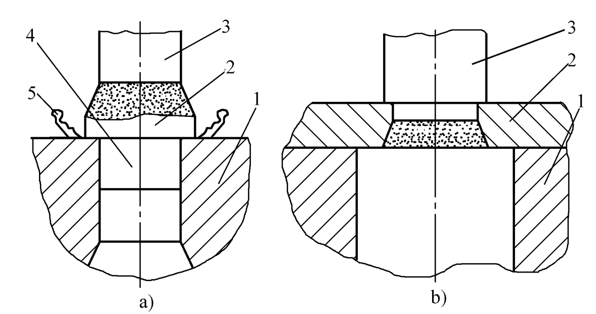


图 3-26　整修

a）外缘整修　b）内孔整修

1—凹模　2—毛坯　3—凸模　4—制件　5—切屑

1. 整修的特点

1）整修中切除的余量较小，因此与其他获得类似精度和断面表面粗糙度的工作方法相比，它所需的冲裁力小。

2）整修后制件尺寸稳定，比一般光洁冲裁所得的制件弹性恢复量小。

3）材料硬，制件形状复杂，其他方法无法保证断面质量和尺寸精度时可以通过整修方法得到。

4）多次整修时，制件定位困难，模具制造精度要求较高，模具数量多。

2. 整修次数的确定

整修次数与制件材料厚度及形状有关，见表 3-27。

表 3-27　整修次数的确定

制件轮廓的复杂性	材料厚度 t/mm	
	<3	>3
平滑无尖角的外形轮廓	1	2
复杂有尖角的外形轮廓	2	3 ~ 4

3. 整修余量及整修前冲裁模工作部分尺寸计算

确定合理的整修余量有利于提高整修件质量和减少整修工序数。整修余量的大小与制件的断面质量有关，即与冲裁过程中凸、凹模之间的间隙有关。根据冲裁时冲模间隙的大小，工作部分尺寸计算可分成两种方法。落料模工作部分尺寸计算见表 3-28，冲孔模工作部分尺寸计算见表 3-29。

4. 整修模工作部分尺寸计算

（1）外缘整修

$$D_{\mathrm{p}} = (D_{\max} - X\Delta - z_{\min})_{-\delta_{\mathrm{p}}}^{0} \tag{3-30}$$

凹模按凸模配作，双面间隙达 0.01mm。

（2）内孔整修

$$d_{\mathrm{p}} = (d_{\min} + X\Delta + C)_{-\delta_{\mathrm{p}}}^{0} \tag{3-31}$$

凹模一般只起支承作用，洞口尺寸不作严格规定。

表 3-28　整修前落料模工作部分尺寸计算

落料方法 尺寸计算及整修余量	采用大间隙冲裁	采用小间隙冲裁
落料凸模尺寸	$D_{\mathrm{p}}=(D_{\max}-X\Delta+y)_{-\delta_{\mathrm{p}}}^{\ 0}$	$D_{\mathrm{p}}=(D_{\max}-X\Delta+\delta-0.04t)_{-\delta_{\mathrm{p}}}^{\ 0}$
落料凹模尺寸	凹模按凸模配作，双面间隙 0. 12t	凹模按凸模配作，双面间隙 0. 04t
整修余量	y 查表 3-30	δ 查图 3-27a
总整修余量	$\delta=y+z$	δ

注：z——冲裁间隙，y——整修余量，$D_{\max}$——整修件上极限尺寸，t——材料厚度，δ——小间隙整修余量，δ_{p}——凸模制造公差。

表 3-29　整修前冲孔模工作部分尺寸计算

冲孔方法 尺寸计算及整修余量	采用大间隙冲裁	采用小间隙冲裁
冲孔凸模尺寸	$d_{\mathrm{p}}=(d_{\min}+X\Delta+C-y-0.12t)_{-\delta_{\mathrm{p}}}^{\ 0}$	$d_{\mathrm{p}}=(d_{\min}+X\Delta+C-\delta)_{-\delta_{\mathrm{p}}}^{\ 0}$
冲孔凹模尺寸	凹模按凸模配作，双面间隙达 0. 12t	凹模按凸模配作，双面间隙 0. 04t
整修余量	y 查表 3-30	δ 查图 3-27b
总整修余量	$\delta=y+z$	δ

注：C——整修后的孔的收缩量。

表 3-30　整修的双边余量 y　　（单位：mm）

材料厚度 t	黄铜、软铜	中碳钢	高碳钢
0. 5 ~ 1. 6	0. 1 ~ 0. 15	0. 15 ~ 0. 20	0. 15 ~ 0. 25
1. 6 ~ 3. 0	0. 15 ~ 0. 20	0. 20 ~ 0. 25	0. 20 ~ 0. 30
3. 0 ~ 4. 0	0. 20 ~ 0. 25	0. 25 ~ 0. 30	0. 25 ~ 0. 35
4. 0 ~ 5. 0	0. 25 ~ 0. 30	0. 30 ~ 0. 35	0. 30 ~ 0. 40
5. 0 ~ 7. 0	0. 30 ~ 0. 35	0. 40 ~ 0. 45	0. 45 ~ 0. 50
7. 0 ~ 10	0. 35 ~ 0. 40	0. 45 ~ 0. 50	0. 55 ~ 0. 60

注：1. 最小余量用于整修形状简单的制件，最大的整修余量用于整修形状复杂和有尖角的制件。

2. 在多次整修中，第二次整修采用表中最小值。

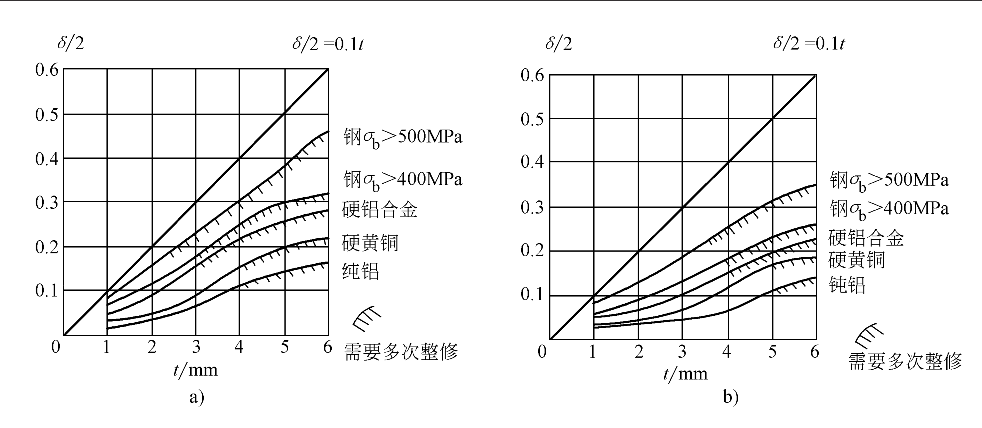


图 3-27　整修余量

a）采用大间隙落料时的整修余量　b）采用小间隙落料时的整修余量

式中　D_p、d_p——凸模公称尺寸（mm）；

D_{max}——制件上极限尺寸（mm）；

d_{min}——制件下极限尺寸（mm）；

Δ——制件公差（mm）；

X——系数，一般取 0.75 左右；

z_{min}——凸、凹模之间间隙（mm），取 0.01 ~ 0.02mm；

C——整修后孔的收缩量，铝：0.005 ~ 0.01mm；黄铜：0.007 ~ 0.012mm；低碳钢：0.008 ~ 0.015mm。

δ_p——凸模制造公差（mm），一般取 0.01 ~ 0.03mm。

5. 整修过程中毛坯的定位

整修过程中毛坯的定位对整修件质量的影响很大。外缘整修时必须使毛坯有塌角的部分放在整修凹模刃口上面，内孔整修时必须使毛坯有圆角部分朝向凸模刃口部分，即凸模从有圆角一端进入，如图 3-28 所示。

内孔整修不但可提高孔的断面质量和尺寸精度，还能找正孔的坐标位置。在加工时，往往对制件中心产生偏移，如图 3-29 所示。可通过整修加以找正。整修余量按下式计算

$$y = 2S + c$$

假设

$$\Delta x = \Delta y$$

$$S = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = 1.41\Delta x$$

$$y = 2.82\Delta x + c \qquad (3\text{-}32)$$

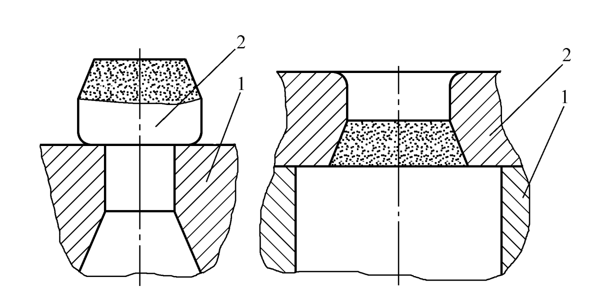


图 3-28　整修时毛坯放置

1—凹模　2—毛坯

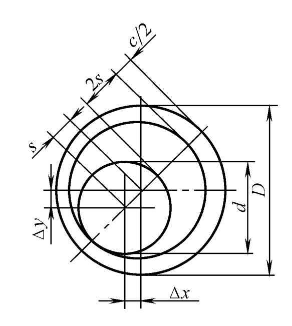


图 3-29　整修前预孔的偏移

式中 y——整修余量(mm)；

S——预制孔中心相对于修正孔中心的偏移量(mm)；

Δx、Δy——预制孔中心相对于修正孔中心分别在 X、Y 坐标上的偏移量(mm)，见表 3-31；

C——补偿定位误差，见表 3-32。

表 3-31　Δx 值的确定　（单位：mm）

材料厚度 t	Δx	
	冲孔	钻孔
0.5～1.5	0.02	0.04
1.5～2.0	0.03	0.05
2.0～3.5	0.04	0.06

表 3-32　补偿定位误差 C　（单位：mm）

S	C	
	以孔为基准	以外形为基准
<10	0.02	0.04
10～20	0.03	0.06
20～40	0.04	0.08
40～100	0.06	0.12

6. 整修力的计算

整修力可按下式计算

$$F = L(\delta + 0.1tn)\tau \tag{3-33}$$

式中 F——整修力(N)；

L——整修件周边长度(mm)；

δ——总整修余量(mm)；

t——材料厚度(mm)；

τ——抗剪强度(mm)；

n——同时处于凹模洞口内的制件数。

7. 整修模

外缘整修和内孔整修模的基本结构与单个毛坯落料或冲孔模相似，但整修属精加工，所以毛坯定位要可靠，凸、凹模之间间隙要小，一般为 0.01～0.02mm。因此，最好采用滚珠导向模架和浮动模柄。

普通外缘整修黄铜、低碳钢等凹模直刃口高度为 6～8mm，凹模应有锋利的刃口(图 3-30a)；对高碳钢，为获得光洁的剪切面，凹模刃口应具有圆角，如图 3-30b 所示。

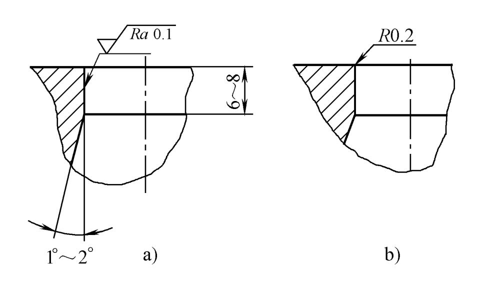


图 3-30　整修模凹模洞口形式

第四章　弯　　曲

第一节　弯曲件毛坯展开长度的计算

一、中性层位置的确定

弯曲件弯曲变形区内，外缘的纤维切向因受拉而伸长，内缘的纤维切向因受压而缩短，由内外表面至板料中心，其缩短和伸长的程度逐渐变小。其间必有一层金属纤维，它的长度在变形前后保持不变，此层称为中性层。中性层位置以曲率半径 ρ 表示，如图 4-1 所示。通常用下面的经验公式计算

$$\rho = R + xt \tag{4-1}$$

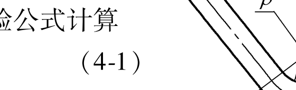


图 4-1　中性层位置

式中　R——弯曲件的内弯曲半径（mm）；

t——材料厚度（mm）；

x——中性层系数，见表 4-1。

表 4-1　中性层系数 x 的值

R/t	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
x	0.23	0.26	0.29	0.31	0.32	0.35	0.37	0.38	0.39	0.4	0.405
R/t	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
x	0.41	0.42	0.424	0.429	0.433	0.436	0.439	0.44	0.445	0.447	0.449
R/t	2.5	3	3.5	3.75	4	4.5	5	6	10	15	30
x	0.458	0.464	0.468	0.47	0.472	0.474	0.477	0.479	0.488	0.493	0.495

二、弯曲件毛坯展开长度的计算

1. $R>0.5t$ 的弯曲件

一般将 $R>0.5t$ 的弯曲件称为有圆角半径的弯曲件，如图 4-2 所示，毛坯展开长度应等于弯曲件直线部分长度和弯曲圆弧中性层部分长度之和

$$L = l_1 + l_2 + A \tag{4-2}$$

$$A = \pi(R + xt)\frac{\alpha}{180} \tag{4-3}$$

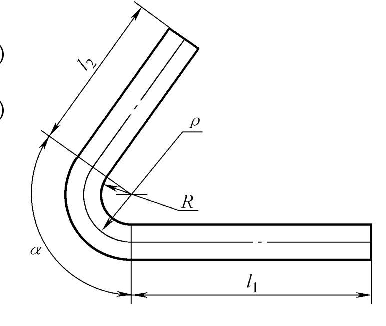


图 4-2　$R>0.5t$ 的弯曲件

式中　L——弯曲件毛坯展开长度（mm）；

A——弯曲圆弧中性层部分长度（mm）；

l_1、l_2——弯曲件直线部分长度（mm）；

R——弯曲件内圆角半径（mm）；

t——材料厚度（mm）；

α——弯曲件的中心角（°）；

x——中性层系数，查表 4-1。

2. $R<0.5t$ 的弯曲件

一般将 $R<0.5t$ 的弯曲件称为无圆角半径的弯曲件，在弯曲过程中，不仅圆角部分产生严重变薄，而且相邻直边部分也产生变薄，一般根据变形前后体积不变的条件确定毛坯长度，通常采用表 4-2 所列经验公式计算。

表 4-2　$R<0.5t$ 的弯曲件毛坯展开长度计算公式　（单位：mm）

简　图	计算公式	简　图	计算公式
	$L=l_1+l_2+0.4t$		$L=l_1+l_2+l_3+0.6t$ 一次弯曲成形
	$L=l_1+l_2-0.43t$		$L=l_1+2l_2+2l_3+t$ 一次弯曲成形 $L=l_1+2l_2+2l_3+1.2t$ 两次弯曲成形

3. 铰链式弯曲件

铰链通常采用推圆的方法成形，在卷圆过程中板料会增厚，中性层会外移，如图 4-3 所示。

$$\rho = R + x_2 t \tag{4-4}$$

式中　R——铰链内圆角半径（mm）；

t——材料厚度（mm）；

x_2——中性层系数，查表 4-3。

$$L = l + \frac{\pi\alpha}{180}\rho = l + \frac{\pi\alpha}{180}(R + x_2 t) \tag{4-5}$$

图 4-3　铰链式弯曲件

表 4-3　卷圆时中性层系数 x_2 的值

R/t	0.5～0.6	>0.6～0.8	>0.8～1.0	>1～1.2	>1.2～1.5	>1.5～1.8	>1.8～2.0	>2.0～2.2	>2.2
x_2	0.76	0.73	0.70	0.67	0.64	0.61	0.58	0.54	0.5

4. 简化计算法（即查表法，见表 4-4）

表 4-4　弯曲件毛坯展开长度修正值 C　（单位：mm）

弯曲圆角半径 R	材料厚度 t													
	0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10
0.1	0.112	0.185	0.265	0.318	$L=a+b+c$									
0.3	0.064	0.169	0.298	0.373	0.455	0.554	0.687	0.833	0.954					
0.5	−0.008	0.107	0.265	0.366	0.448	0.562	0.758	0.923	1.057	1.324	1.591			
1.0	−0.210	−0.077	0.105	0.214	0.326	0.497	0.732	0.944	1.124	1.517	1.847	2.113	2.647	3.180
1.5	−0.240	−0.281	−0.085	0.040	0.158	0.321	0.595	0.847	1.098	1.490	1.867	2.275	2.872	3.437
2.0	−0.634	−0.490	−0.296	−0.155	−0.027	0.152	0.427	0.710	0.953	1.464	1.888	2.249	3.034	3.693
2.5	−0.848	−0.700	−0.496	−0.356	−0.229	−0.042	0.256	0.534	0.814	1.330	1.830	2.260	2.994	3.792
3.0	−1.061	−0.914	−0.700	−0.561	−0.427	−0.233	0.079	0.374	0.641	1.191	1.693	2.195	2.980	3.734
4.0	−1.490	−1.341	−1.121	−0.979	−0.842	−0.639	−0.310	0.003	0.305	0.855	1.420	1.916	2.927	3.775
5.0	−1.919	−1.767	−1.547	−1.401	−1.259	−1.053	−0.712	−0.388	−0.082	0.513	1.069	1.637	2.648	3.659
6.0	−2.349	−2.196	−1.975	−1.828	−1.681	−1.468	−1.129	−0.794	−0.465	0.158	0.748	1.282	2.381	3.386
8.0	−3.209	−3.055	−2.823	−2.682	−2.536	−2.310	−1.955	−1.611	−1.278	−0.620	0.006	0.610	1.709	2.840
10	−4.069	−3.914	−3.686	−3.534	−3.390	−3.172	−2.802	−2.447	−2.105	−1.424	−0.775	−0.165	1.051	2.137
12	−4.928	−4.773	−4.545	−4.392	−4.241	−4.023	−3.656	−3.292	−2.937	−2.246	−1.588	−0.874	0.366	1.591
15	−6.218	−6.062	−5.835	−5.681	−5.529	−5.301	−4.936	−4.570	−4.213	−3.498	−2.808	−2.136	−0.811	0.395
20	−8.367	−8.211	−7.982	−7.828	−7.675	−7.449	−7.068	−6.704	−6.339	−5.604	−4.895	−4.211	−2.847	−1.551

5. 圆杆弯曲件

如图4-4所示的圆杆弯曲件，当弯曲半径$R \geqslant 1.5d$时，其断面在弯曲后基本不变，仍保持圆形，中性层系数x值近似于0.5。当$R < 1.5d$时，弯曲后断面发生畸变，中性层向外偏移，x值可查表4-5。其展开长度可用下式计算

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + \frac{\pi\alpha}{180}(R + xt) \tag{4-6}$$

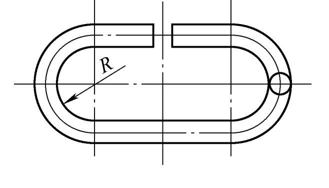


图4-4　圆杆弯曲件

表4-5　圆杆弯曲件中性层系数x值

弯曲半径R	$\geqslant 1.5d$	$\leqslant d$	$\leqslant 0.5d$	$\leqslant 0.25d$
系数x	0.50	0.51	0.53	0.55

第二节　弯曲件的回弹

塑性弯曲和所有塑性变形一样，伴有弹性变形，当弯曲变形结束，弯曲件不受外力作用时，由于弹性回复，使弯曲件的角度、弯曲圆角半径与冲模的形状和尺寸不一致，这种现象称为回弹，如图4-5所示。为了提高弯曲件的质量，必须消除回弹，要完全消除回弹是困难的，生产中常采取一些措施来减少弯曲件的回弹，以提高弯曲件的精度。

弯曲件的回弹主要表现在两方面：

- 弯曲圆角半径的增大　卸载前的弯曲件内圆角半径R（与凸模一致），在卸载后增大到R_0，圆角半径的增量为

$$\Delta R = R_0 - R$$

- 弯曲件角度的增大　卸载前的弯曲件角度α_1（与凸模一致）卸载后增大到α_0，角度增量为

$$\Delta\alpha = \alpha_0 - \alpha$$

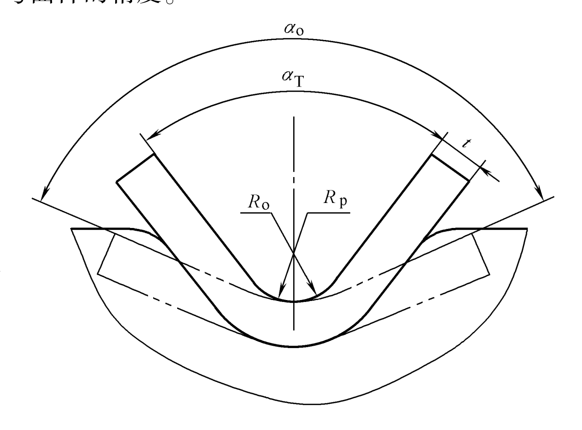


图4-5　弯曲件的回弹

一、影响回弹的因素

（1）材料的力学性能　回弹与材料的屈服强度δ_s成正比与弹性模量E成反比。

（2）相对弯曲半径R/t　相对弯曲半径R/t越小，变形程度越大，回弹值越小。

（3）弯曲件的形状　一次弯曲成形的角数量越多，则各部分相互牵制的作用越大，故回弹越小。

（4）凸、凹模之间间隙　在弯曲U形件时，间隙越大，回弹值越大。

（5）弯曲方式　自由弯曲回弹大，校正弯曲回弹小。

（6）弯曲件角度α　弯曲件角度越小，表示弯曲变形区域越大，回弹的积累越大，回弹角也越大。

二、回弹值的确定

因影响回弹的因素很多，很难用精确的计算方法得出回弹值的大小，一般按表格或图表查出经验数值，或按公式计算出回弹值，再在生产实践中试模修正。

（1）图表法　当$R/t < 5$时，弯曲圆角半径的回弹值不大，因此，只考虑角度的回弹，回弹角度可按表4-6～表4-9选取，V形件校正弯曲回弹还可按图4-6～图4-9选取。

（2）计算法　当 $R/t>10$ 的弯曲件，回弹值很大，弯曲圆角半径和弯曲角均有较大的变化。此时的回弹主要决定于材料力学性能，可分别计算如下：

凸模圆角半径 R_p 为

$$R_p = \frac{R}{1+\frac{3\sigma_s}{E}\cdot\frac{R}{t}} \quad 设\frac{3\sigma_s}{E}=K$$

$$R_p = \frac{R}{1+K\frac{R}{t}} \tag{4-7}$$

$$\Delta\alpha = (180° - \alpha)\left(\frac{R}{R_p}-1\right) \tag{4-8}$$

式中　R_p——考虑回弹后凸模工作部分的圆角半径（mm）；

R——工件要求的圆角半径（mm）；

α——工件要求的角度（°）；

$\Delta\alpha$——考虑回弹后角度的增量（°）；

σ_s——材料的屈服强度（MPa）；

E——弹性模量；

K——简化系数，见表4-10。

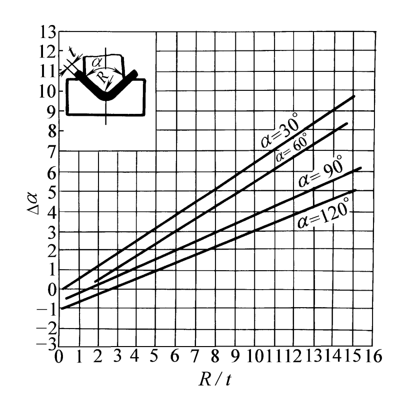


图4-6　08、10及Q235钢回弹角

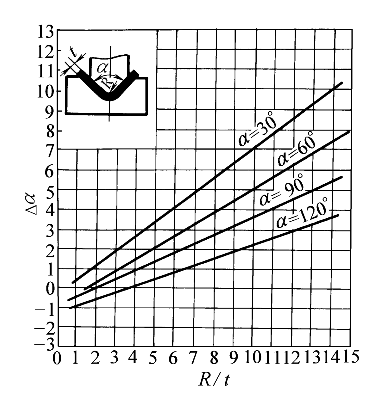


图4-7　15、20及Q215A、Q235A钢回弹角

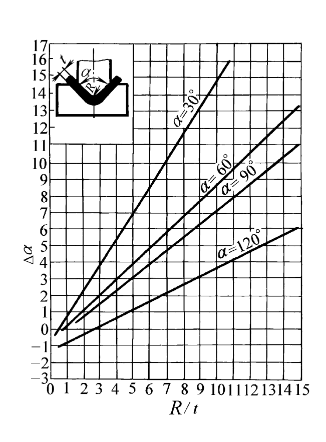


图4-8　25、30及Q235A钢回弹角

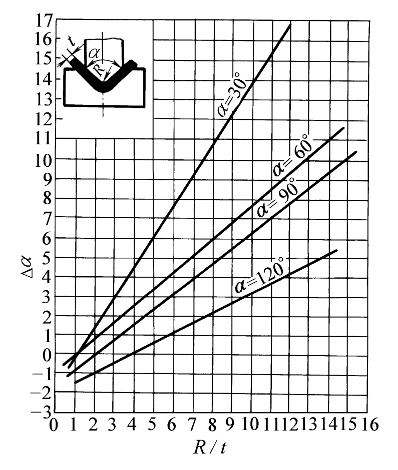


图4-9　35及Q275钢回弹角

对于 $R/t>10$ 的弯曲件，还可用图 4-10 和图 4-11 直接查出。

查图方法：在图 4-10 中，先在 R/t 和 σ_s 线上找出与其数值相当的点，然后作直线连接此两点，与 R_p/t 线相交，由此交点即可读出 R_p/t 的值，并求出回弹前半径 R_p。例如已知 $R/t=80/5=16$，$\sigma_s=300\text{MPa}$，则得 $R_p/t=15$，$R_p/5=15$，$R_p=75\text{mm}$。

在图 4-11 中，先在横坐标上找出 R/R_p 的点，过此点向上作垂线与弯曲角度 α 的相当数值相交，由此交点向右作横坐标的平行线与纵坐标相交，即可求得 $\Delta\alpha$ 的值。例如：已知 $R/R_p=80/75=1.07$，$\alpha=85°$则 $\Delta\alpha=6.5°$。

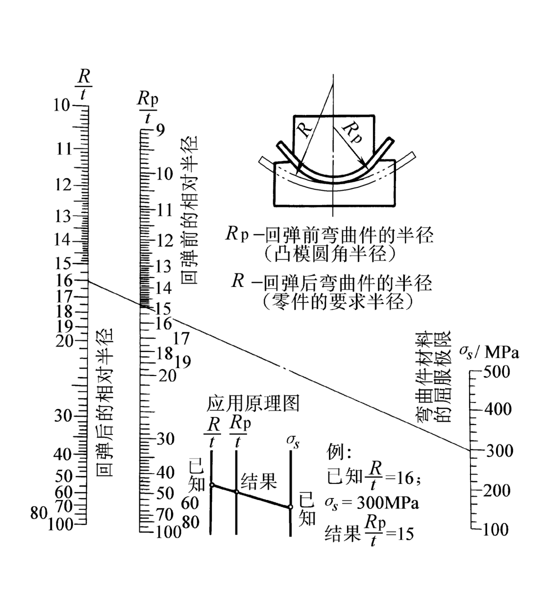


图 4-10　确定回弹前凸模圆角半径的计算图表

图 4-11　确定角度回弹量的图表

表 4-6　90°单角自由弯曲时的回弹角

材　　料	R/t	材料厚度 t/mm		
		<0.8	0.8～2	>2
低碳钢　$\sigma_s=350\text{MPa}$ 黄铜　$\sigma_s=350\text{MPa}$ 铝、锌	<1 1～5 >5	4° 5° 6°	2° 3° 4°	0° 1° 2°
中碳钢　$\sigma_s=450\sim500\text{MPa}$ 硬黄铜　$\sigma_s=350\sim400\text{MPa}$ 硬青铜　$\sigma_s=350\sim400\text{MPa}$	<1 1～5 >5	5° 6° 8°	2° 3° 5°	0° 1° 3°
高碳钢　$\sigma_s>550\text{MPa}$	<1 1～5 >5	7° 9° 12°	4° 5° 7°	2° 3° 6°
2A12（硬铝 LY12）	<2 2～5 >5	2° 4° 6.5°	3° 6° 10°	4.5° 8.5° 14°
7A04（超硬铝 LC4）	<2 2～5 >5	2.5° 4° 7°	5° 8° 12°	8° 11.5° 19°
30CrMnSiA	<2 2～5 >5	2° 4.5° 8°	2° 4.5° 8°	2° 4.5° 8°

表 4-7　90°单角校正弯曲时的回弹角 $\Delta\alpha$

材　料	R/t		
	≤1	>1~2	>2~3
Q215、Q235、	−1°~1.5°	0°~2°	1.5°~2.5°
纯铜、铝、黄铜	0°~1.5°	0°~3°	2°~4°

表 4-8　镦压弯曲时的回弹角

材　料	R/t	弯曲角						
		150°	135°	120°	105°	90°	60°	30°
		回弹角度 $\Delta\alpha$						
2A12-HX8 (LY12Y)	2	2°	2.5°	3.5°	4°	4.5°	6°	7.5°
	3	3°	3.5°	4°	5°	6°	7.5°	9°
	4	3.5°	4.5°	5°	6°	7.5°	9°	10.5°
	5	4.5°	5.5°	6.5°	7.5°	8.5°	10°	11.5°
	6	5.5°	6.5°	7.5°	8.5°	9.5°	11.5°	13.5°
	8	7.5°	9°	10°	11°	12°	14°	16°
	10	9.5°	11°	12°	13°	14°	15°	18°
	12	11.5°	13°	14°	15°	16.5°	18.5°	21°
2A12-O (LY12M)	2	0.5°	1°	1.5°	2°	2°	2.5°	3°
	3	1°	1.5°	2°	2.5°	2.5°	3°	4.5°
	4	1.5°	1.5°	2°	2.5°	3°	4.5°	5°
	5	1.5°	2°	2.5°	3°	4°	5°	6°
	6	2.5°	3°	3.5°	4°	4.5°	5.5°	6.5°
	8	3°	3.5°	4.5°	5°	5.5°	6.5°	7.5°
	10	4°	4.5°	5°	6°	6.5°	8°	9°
	12	4.5°	5.5°	6°	6.5°	7.5°	9°	11°
7A04-HX8 (LC4Y)	3	5°	6°	7°	8°	8.5°	9°	11.5°
	4	6°	7.5°	8°	8.5°	9°	12°	14°
	5	7°	8°	8.5°	10°	11.5°	13.5°	16°
	6	7.5°	8.5°	10°	12°	13.5°	15.5°	18°
	8	10.5°	12°	13.5°	15°	16.5°	19°	21°
	10	12°	14°	16°	17.5°	19°	22°	25°
	12	14°	16.5°	18°	19°	21.5°	25°	28°
7A04-O (LC4M)	2	1°	1.5°	1.5°	2°	2.5°	3°	3.5°
	3	1.5°	2°	2.5°	2°	3°	3.5°	4°
	4	2°	2.5°	3°	3°	3.5°	4°	4.5°
	5	2.5°	3°	3.5°	3.5°	4°	5°	6°
	6	3°	3.5°	4°	4.5°	5°	6°	7°
20（已退火）	1	0.5°	1°	1°	1.5°	1.5°	2°	2.5°
	2	0.5°	1°	1.5°	2°	2°	3°	3.5°
	3	1°	1.5°	2°	2°	2.5°	3.5°	4°
	4	1°	1.5°	2°	2.5°	3°	4°	5°
	5	1.5°	2°	2.5°	3°	3.5°	4.5°	5.5°
	6	1.5°	2°	2.5°	3°	4°	5°	6°
	8	2°	3°	3.5°	4.5°	5°	6°	7°
	10	3°	3.5°	4.5°	5°	5.5°	7°	8°
	12	3.5°	4.5°	5°	6°	7°	8°	9°
30CrMnSiA（已退火）	1	0.5°	1°	1°	1.5°	2°	2.5°	3°
	2	0.5°	1.5°	1.5°	2°	2.5°	3.5°	4.5°
	3	1°	1.5°	2°	2.5°	3°	4°	5.5°
	4	1.5°	2°	3°	3.5°	4°	5°	6.5°
	5	2°	2.5°	3°	4°	4.5°	5.5°	7°
	6	2.5°	3°	4°	4.5°	5.5°	6.5°	8°
	8	3.5°	4.5°	5°	6°	6.5°	8°	9.5°
	10	4°	5°	6°	7°	8°	9.5°	11.5°
	12	5.5°	6.5°	7.5°	8.5°	9.5°	11°	13.5°

（续）

材　料	R/t	弯曲角						
		150°	135°	120°	105°	90°	60°	30°
		回弹角度 Δα						
1Cr18Ni9Ti	0.5	0°	0°	0.5°	0.5°	1°	1.5°	2°
	1	0.5°	0.5°	1°	1°	1.5°	2°	2.5°
	2	0.5°	1°	1.5°	1.5°	2°	2.5°	3°
	3	1°	1°	2°	2°	2.5°	3.5°	4°
	4	1°	1.5°	2.5°	3°	3.5°	4°	4.5°
	5	1.5°	2°	3°	3.5°	4°	4.5°	5.5°
	6	2°	3°	3.5°	4°	4.5°	5.5°	6.5°

表 4-9　U 形件弯曲时的回弹角

材　料	R/t	间　隙						
		0.8t	0.9t	1t	1.1t	1.2t	1.3t	1.4t
		回弹角 Δα						
2A12-HX8（LY12Y）	2	−2°	0°	2.5°	5°	7.5°	10°	12°
	3	−1°	1.5°	4°	6.5°	9.5°	12°	14°
	4	0°	3°	5.5°	8.5°	11.5°	14°	16.5°
	5	1°	4°	7°	10°	12.5°	15°	18°
	6	2°	5°	8°	11°	13.5°	16.5°	19.5°
2A12-O（LY12M）	2	−1.5°	0°	1.5°	3°	5°	7°	8.5°
	3	−1.5°	0.5°	2.5°	4°	6°	8°	9.5°
	4	−1°	1°	3°	4.5°	6.5°	9°	10.5°
	5	−1°	1°	3°	5°	7°	9.5°	11°
	6	−0.5°	1.5°	3.5°	6°	8°	10°	12°
7A04-HX8（LC4Y）	3	3°	7°	10°	12.5°	14°	16°	17°
	4	4°	8°	11°	13.5°	15°	17°	18°
	5	5°	9°	12°	14°	16°	18°	20°
	6	6°	10°	13°	15°	17°	20°	23°
	8	8°	13.5°	16°	19°	21°	23°	26°
7A04-O（LC4M）	2	−3°	−2°	0°	3°	5°	6.5°	8°
	3	−2°	−1.5°	2°	3.5°	6.5°	8°	9°
	4	−1.5°	−1°	2.5°	4.5°	7°	8.5°	10°
	5	−1°	−1°	3°	5.5°	8°	9°	11°
	6	0°	−0.5°	3.5°	6.5°	8.5°	10°	12°
20（已退火）	1	−2.5°	−1°	0.5°	1.5°	3°	4°	5°
	2	−2°	−0.5°	1°	2°	3.5°	5°	6°
	3	−1.5°	0°	2.5°	3°	4.5°	6°	7.5°
	4	−1°	0.5°	2.5°	4°	5.5°	7°	9°
	5	−0.5°	1.5°	3°	5°	6.5°	8°	10°
	6	−0.5°	2°	4°	6°	7.5°	9°	11°
30CrMnSiA（已退火）	1	−2°	−0.5°	0°	1°	2°	4°	5°
	2	−1.5°	−1°	1°	2°	4°	5.5°	7°
	3	−1°	0°	2°	3.5°	5°	6.5°	8.5°
	4	−0.5°	1°	3°	5°	6.5°	8.5°	10°
	5	0°	1.5°	4°	6°	8°	10°	11°
	6	0.5°	2°	5°	7°	9°	11°	13°
1Cr18Ni9Ti	1	−2°	−1°	−0.5°	0°	0.5°	1.5°	2°
	2	−1°	−0.5°	0°	1°	1.5°	2°	3°
	3	−0.5°	0°	1°	2°	2.5°	3°	4°
	4	0°	1°	2°	2.5°	3°	4°	5°
	5	0.5°	1.5°	2.5°	3°	4°	5°	6°
	6	1.5°	2°	3°	4°	5°	6°	7°

表 4-10　简化系数 K 值

材　料	状　态	K	材　料	状　态	K
1035（L4） 8A06（L6）	退火 冷硬	0.0012 0.0041	QSn6.5-0.1	硬	0.015
3A21（LF21） 5A12（LF12）	退火 冷硬 软	0.0021 0.0054 0.0024	QBe2	软 硬	0.0064 0.0265
2A11（LY11）	软 硬	0.0064 0.0175	QAL5	硬	0.0047
2A12（LY12）	软 硬	0.007 0.026	08、10、Q215		0.0032
			Q235、20		0.0050
T1、T2、T3	软 硬	0.0019 0.0088	Q275、30、35		0.0068
			50		0.015
H62	软 半硬 硬	0.0033 0.008 0.015	T8	退火 冷硬	0.0075 0.035
			1Cr18Ni9Ti	退火 冷硬	0.0044 0.018
			65Mn	退火 冷硬	0.0076 0.015
H68	软 硬	0.0026 0.0148	60Si2MnA	冷硬	0.021

三、减少回弹的措施

要完全消除弯曲件的回弹是很难的，生产中常采取一些措施来减少弯曲件的回弹，以提高弯曲件的精度。

1. 弯曲件设计上采取措施

改进弯曲件设计减少回弹，如有可能在弯曲变形区压制加强肋，如图 4-12 所示。使弯曲件回弹困难，并提高弯曲件刚度。在条件允许的情况下，采用弹性模量大、屈服强度低、力学性能稳定和材料厚度波动小的材料。

2. 在模具设计上采取措施

（1）补偿法　根据弯曲件的回弹理论通过查图表或计算，初步确定弯曲件的回弹量，在凸、凹模工作部分相应的形状和尺寸进行修正，对弯曲件的回弹量予以补偿。例如，在单角弯曲时，根据弯曲件可能产生的回弹量，将凸模圆角半径和角度做小些，以补偿回弹。在有压板的单角弯曲中，将回弹角做在凹模上，使凹模工作部分具有一定的斜度，如图 4-13 所示。对于双角弯曲，可将凸模两侧分别作出等于回弹角的补偿角，如图4-14a所示，或将凸模底部作成圆弧形，如图 4-14b 所示，利用底部向下回弹作用补偿弯曲件两边的回弹。

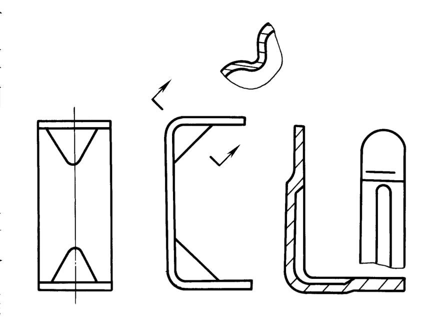


图 4-12　在弯曲变形区压制加强肋减少回弹

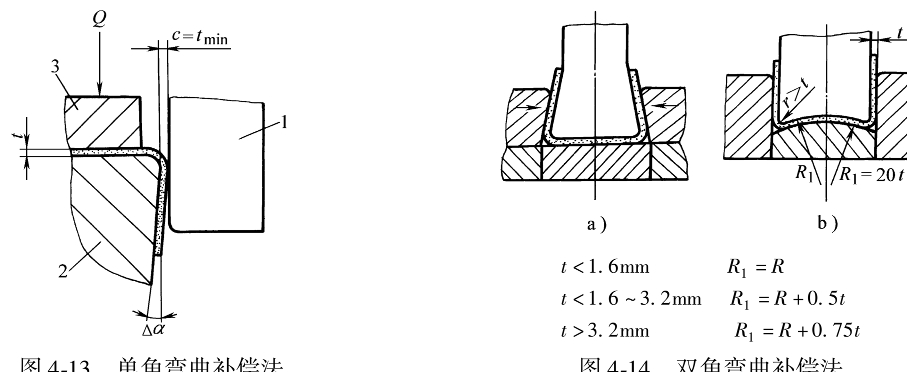


图 4-13　单角弯曲补偿法　　　　图 4-14　双角弯曲补偿法

（2）校正法（镦压法）　对于 $R/t<5$ 的塑性好的材料（如 10、20、Q215、Q235 和 H62M 等），可使凸模的作用力集中在变形区，从增大变形区的变形程度达到减小回弹的目的，如图4-15所示。

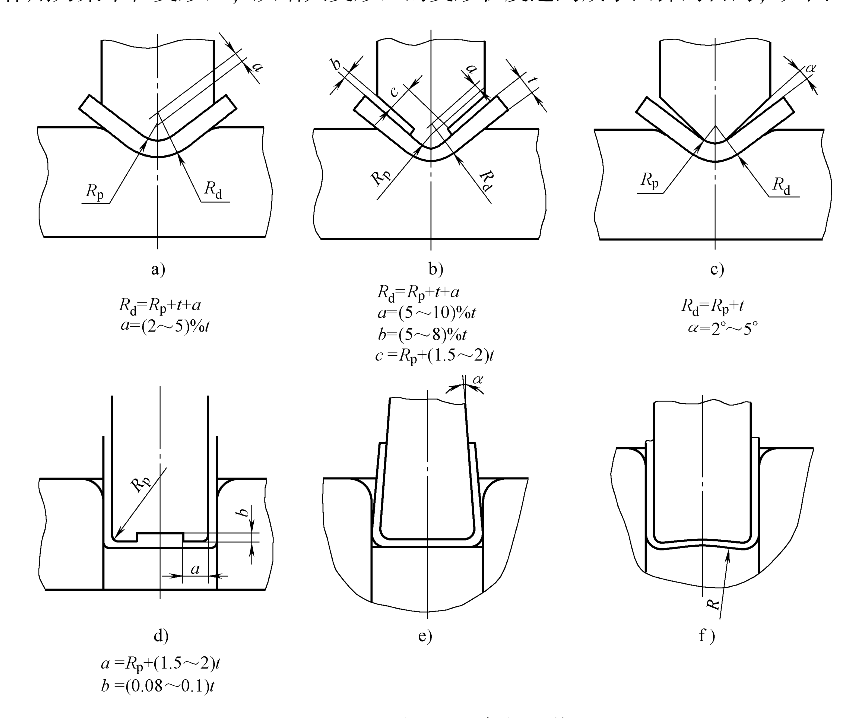


图 4-15　校正法减小回弹

a）、b）、c）单角校正　d）、e）、f）双角校正

第三节　弯曲件的工序安排

一、分工序弯曲的弯曲件

1）对于形状简单、批量不大的 V 形、U 形等弯曲件，可采用落料后一次弯曲成形的方法。

2）对于形状复杂的中、大型弯曲件，不宜采用级进模弯曲时，或用级进模弯曲比较困难的小型零件及批量不大的小型零件，可采用多副模具进行弯曲。在弯曲中，前一道工序应考虑后一道工序的定位是否方便可靠，后一道工序应保证前一道工序已成形的形状不被破坏。

图 4-16 为两道工序弯曲成形的示例；图 4-17 为三道工序弯曲成形的示例；图 4-18 为四道工序弯曲成形的示例。

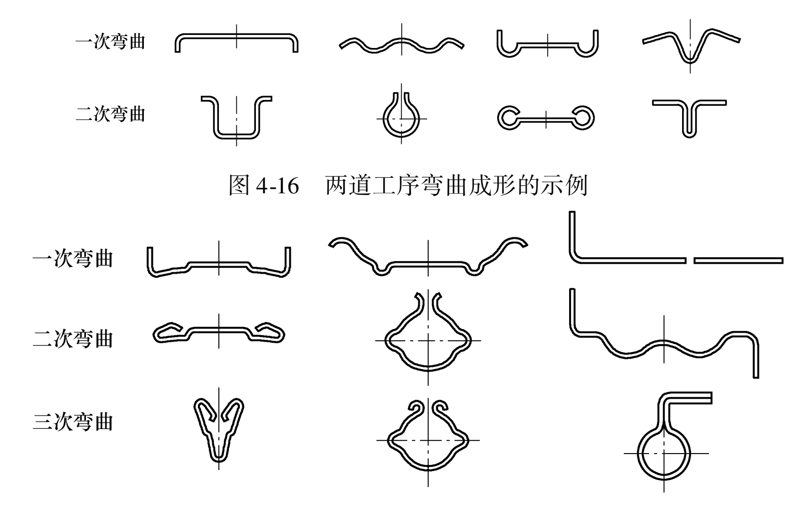


图 4-16　两道工序弯曲成形的示例

图 4-17　三道工序弯曲成形的示例

二、级进模中弯曲件的工序安排

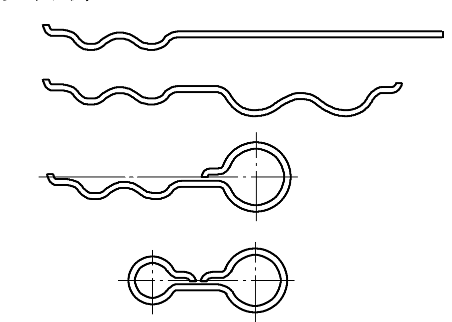
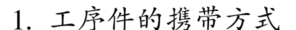


图 4-18　四道工序弯曲成形的示例

对于批量较大的中小型弯曲件，尤其是形状复杂的中小型弯曲件，为了提高生产效率，提高产品质量，大多采用在冲裁弯曲级进模中分工序冲压逐步完成。所以工序安排主要考虑下列问题。



1. 工序件的携带方式

1）在落料工位上、下加压，使工序件落料后重新压入条料内。这主要用于制件形状简单，材料厚度在 0.3 ~ 1.2mm 的材料中，可采用在落料工位上、下加压，使工序件落料后重新压入条料内，随条料继续送进到下一、二个工位时进行弯曲，如图 4-19 和图 4-20 所示，对于薄料也可采用在弯曲部分切口后再顶回条料中去，当条料送到下一、二个工位再弯曲，如图 4-21 所示。

2）载体传递。这主要用于制件形状比较复杂或很复杂、需多工序才能弯曲成形的制件，一般采用冲裁弯曲部分的搭边待弯曲留载体的方法，所谓载体，就是在排样时，必须考虑冲压工序件能持续向前送进特意留下的一部分与工序件相连接的那一部分材料。它必须保证有足够的强度和刚性，保证卷料在送进过程中不因弯曲变形或断裂而影响送料精度，甚至损坏模具。载体实际

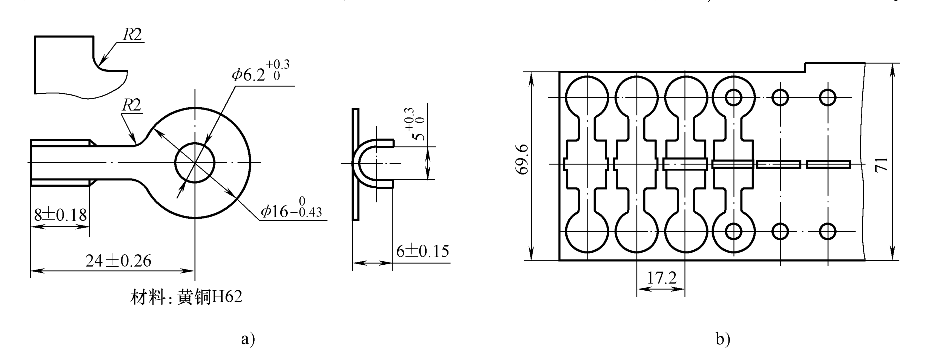


图 4-19　焊片排样图（一）
a）制件图　b）排样图

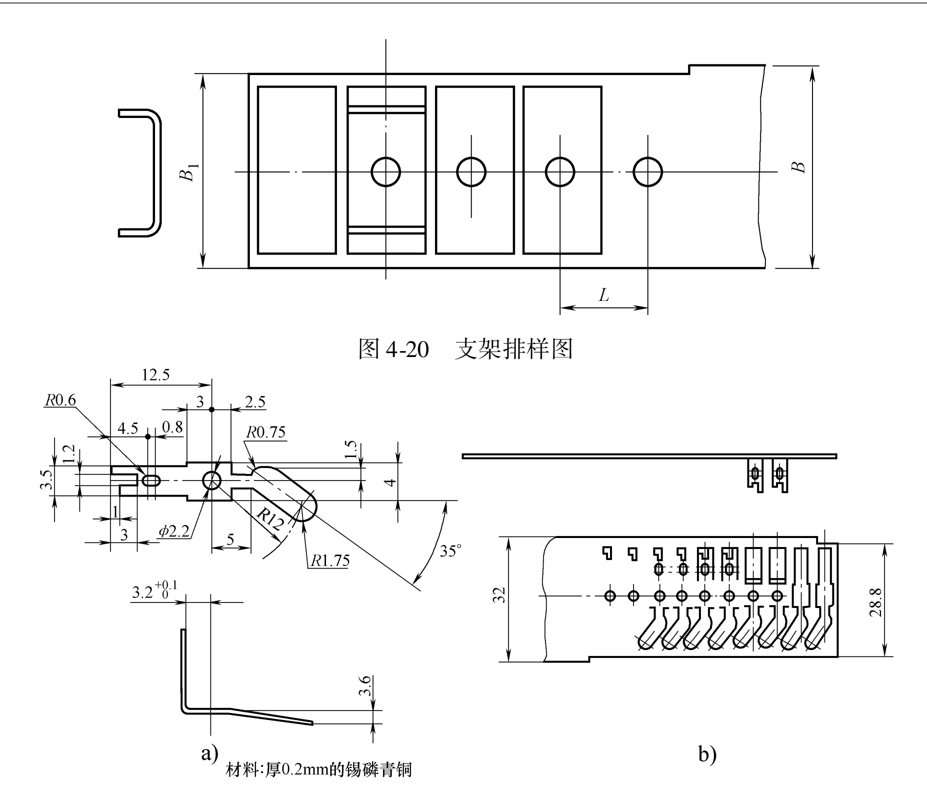


图 4-20　支架排样图

图 4-21　焊片排样图（二）

a）制件图　b）排样图

上也是工序间留下的搭边和侧搭边，但它和普通冲裁中的搭边和侧搭边又完全不同，冲裁件可以采用有搭边、少搭边或无搭边冲裁，而载体在带弯曲或其他成形的级进模中是不可缺少的。又由于带弯曲或其他成形工序多工位级进模设计时必须考虑送料步距的准确可靠，单靠自动送料装置送料定距是不够的，一般很难保证步距尺寸的一致性，因而常用自动送料作初定距，采用导正销作精定距，在载体上一般要冲导正销孔，所以载体用料比普通搭边要大，材料利用率低。因此在设计排样时，在保证带料有足够强度和刚性条件下，有地方冲制导正销孔外，应尽可能减小载体尺寸，当然也可采用制件上的孔作导正销孔，以提高材料利用率。

2. 载体的种类与特点

1）双侧载体又称双载体，指卷料在送进过程中，被冲工序件和卷料两侧边相连的那部分，即被冲制件的工序件连接在两侧载体中间，双载体也就是冲裁过程中的侧搭边。但常为冲导正销孔的地方，所以比冲裁侧搭边大，保证送料平稳可靠，但材料利用率低。一般用于材料厚度较薄，制件精度和步距定位精度要求高的冲裁弯曲多工位级进模中。

双载体根据两侧载体的宽度不同，可分为等宽双载体和不等宽双载体两种。等宽双载体如图 4-22 和图 4-23 所示，不等宽双载体如图 4-24 和图 4-25 所示。宽的一侧一般冲导正销孔，称为主

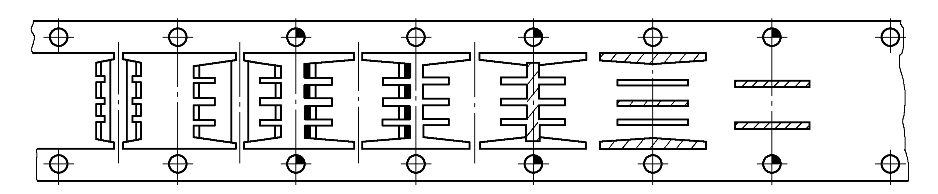


图 4-22　等宽双载体（一）

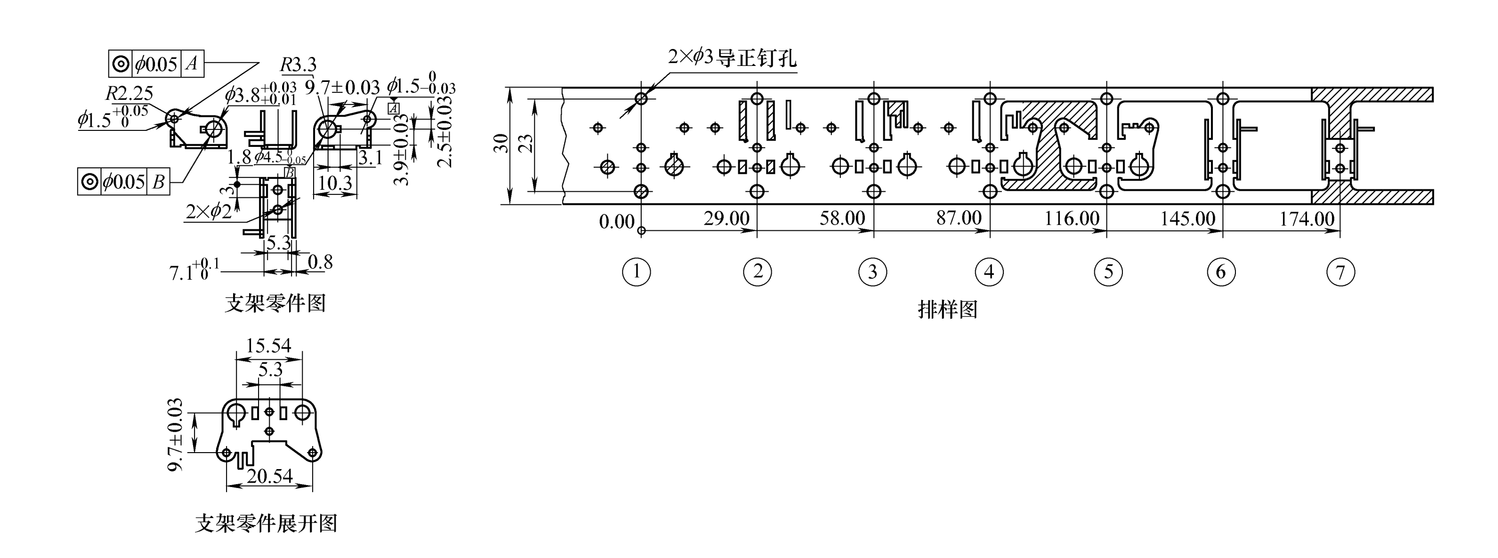

φ0.05 A
R3.3
R2.25
9.7±0.03
φ1.5
φ3.8
φ0.05 B
1.8
φ4.5
3.1
10.3
3.9±0.03
2.5±0.03
2×φ2
5.3
7.1
0.8
支架零件图
15.54
5.3
9.7±0.03
20.54
支架零件展开图
2×φ3导正钉孔
30
23
0.00
29.00
58.00
87.00
116.00
145.00
174.00
①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
排样图

图 4-23　等宽双载体（二）

载体，带料送进主要靠主载体一侧送进，窄的一侧为副载体，在冲压过程中，后面这部分副载体，为了侧向冲压得到合格的制件，通常要先被切除，因此，不等宽双侧载体，在冲切除副载体之后，还要承担冲压工序的加工，直到所有工序加工完成，制件才与主载体分离。

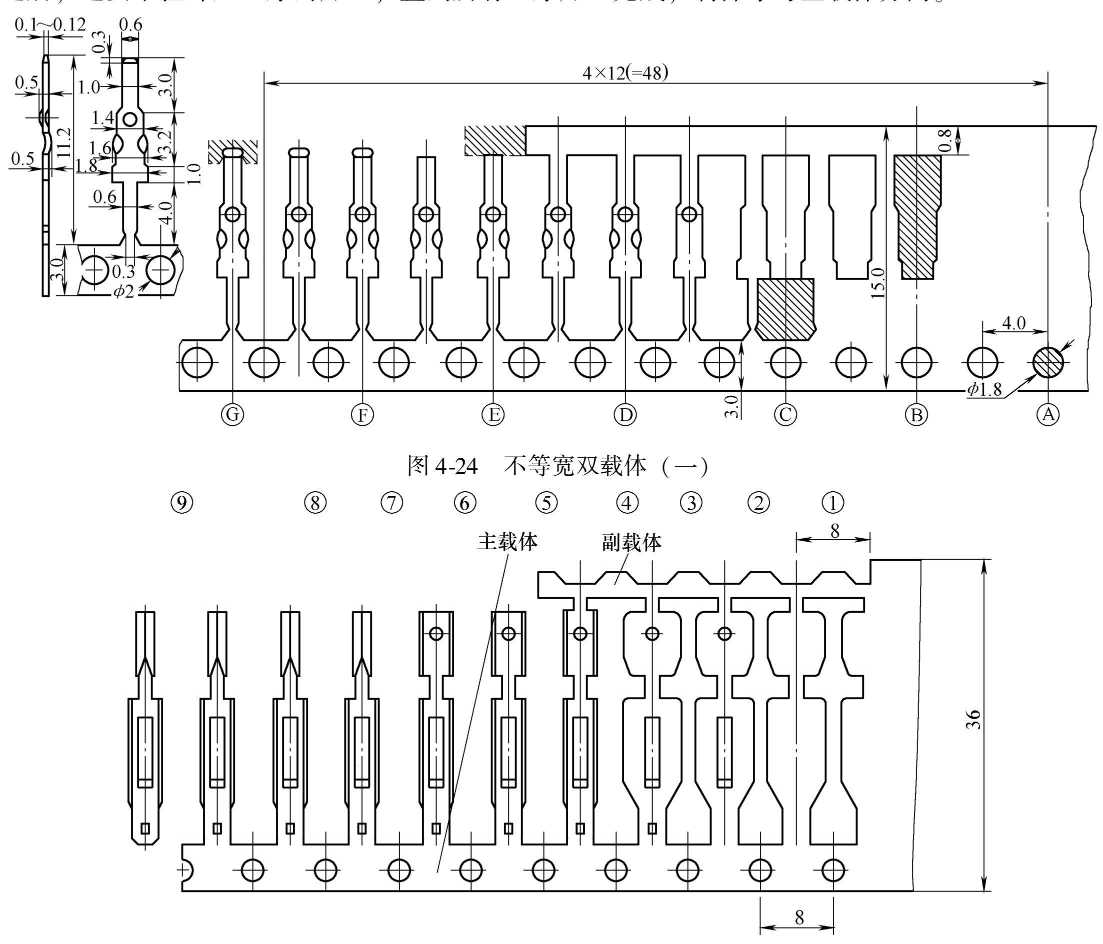


图 4-24 不等宽双载体（一）

图 4-25 不等宽双载体（二）

2）单侧载体又称单载体，指卷料在送进过程中，为了得到合格的带弯曲或其他成形的制件，卷料的一侧被切除，另一侧外形保持完整并与制件的工序件相连的那部分材料。冲压时送料仅靠这一侧载体向前送进，单载体一般用于一端有复杂的弯曲形状的制件，为了使弯曲工序能顺利进行，必须使弯曲部分和带料分离，这就需要切除与卷料连接的那一部分材料，使弯曲工序毛坯与卷料分离。因而单载体宽度较大，为的是保证卷料有足够的强度和刚性，因而软而太薄的材料不宜采用。为了防止载体在冲压过程中有微小变形而影响制件精度，应尽量采用制件中的孔作为导正销的孔进行导正，以提高送料精度。单载体排样如图 4-26 和图 4-27 所示。

对于一些细长的制件，为了提高载体的强度与刚性，在每两个工位间可在适当位置用一小部分材料相连接，这种载体称为桥接载体，如图 4-28 和图 4-29 所示。当冲压到一定工序后，再将桥接部分切除。

3）中间载体又称中载体，指带料在送进过程中，被冲的工序件在卷料中间一直相互连接的那一部分材料，一般在制件成形后被切除。它适用于两侧有弯曲或其他成形的对称性制件，也适用于两侧有弯曲的不对称制件如图 4-30 ~ 图 4-33 所示。

3. 工序的安排

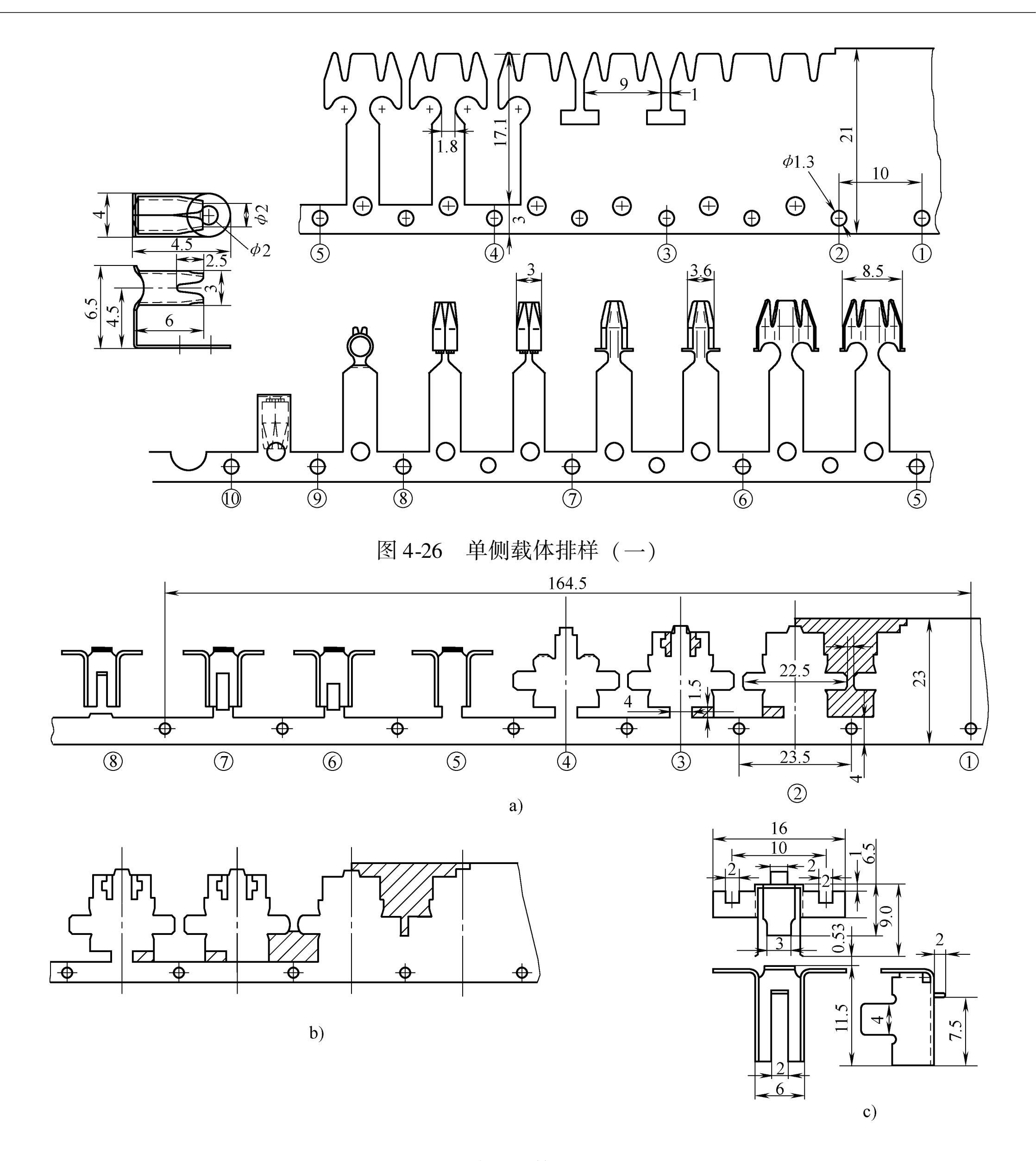


图 4-26　单侧载体排样（一）

图 4-27　单侧载体排样（二）

弯曲件毛坯展开尺寸计算以后，通过弯曲件的展开图，可直观地看出弯曲件之间所需切除的废料，经过反复分析排样，可确定弯曲件的外形冲切应分几道工序进行，以及工序的先后顺序，弯曲件应先弯哪一部分，后弯哪一部分。冲裁工序和弯曲工序在卷料上的布置方法叫弯曲件在卷料上的排样。复杂弯曲件在卷料上的排样应遵守下列原则：

1）先冲导正销孔，再逐步冲切弯曲部分周边废料后再进行弯曲，最后切除废料获得弯曲件。

2）对形状复杂的弯曲件，为了保证冲模制造简单并保证弯曲件的角度，应分解为简单弯曲工序的组合，逐次弯曲成形，如图 4-34 所示。

3）为避免弯曲时载体变形和侧向滑动，对较小的制件可两件组合对称弯曲，如图 4-34 所示。

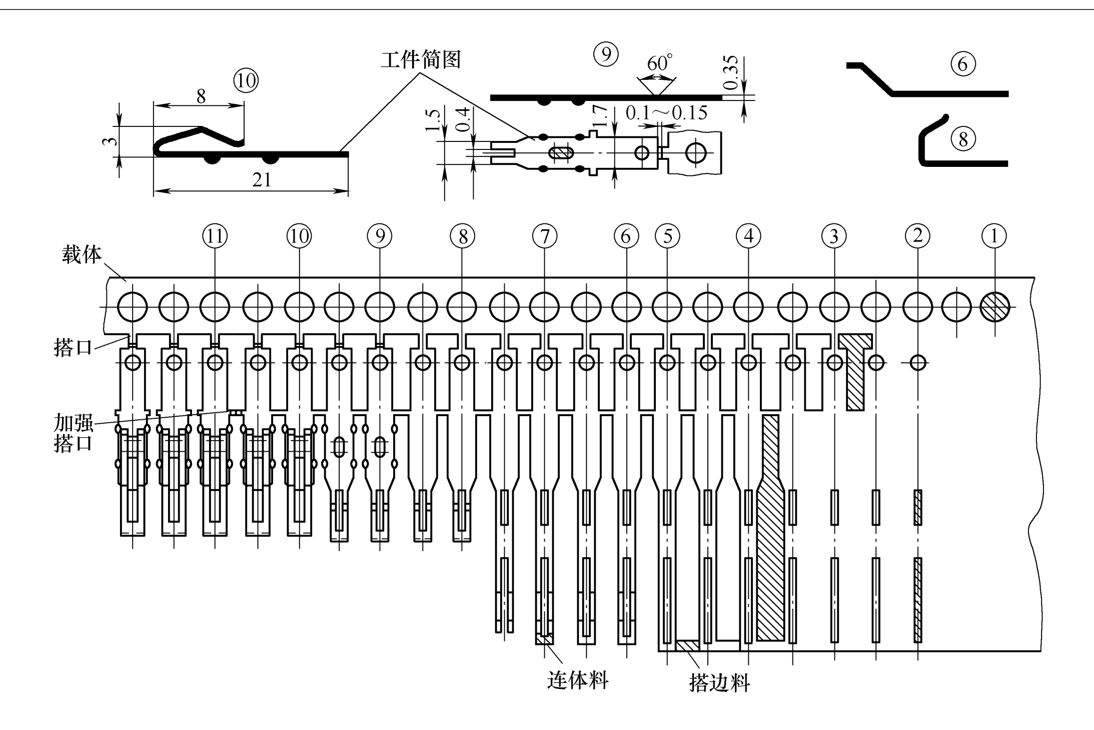


图 4-28　簧片单侧载体加桥接载体

①—冲导正孔　②—冲圆孔和槽孔　③—冲丁字槽孔　④—冲长槽孔　⑤—切搭边料

⑥—首次弯曲　⑦—切连体料　⑧—二次弯曲　⑨—冲长圆孔、压筋、压搭口 60°槽

⑩—压弯成形　⑪—切加强搭口

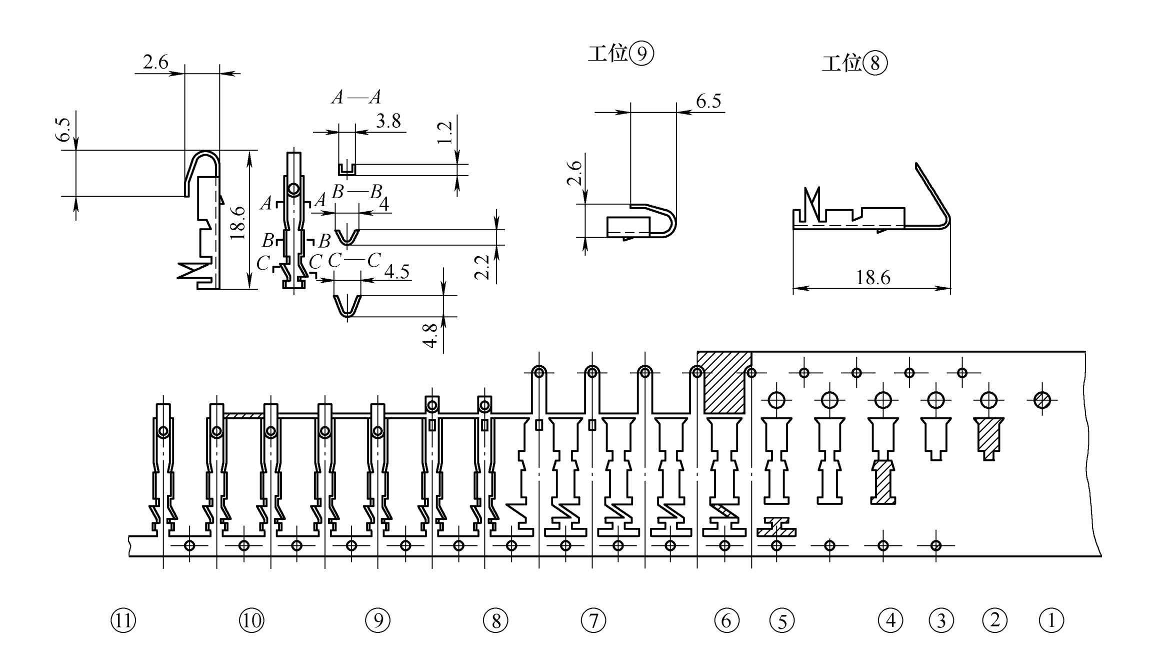


图 4-29　连接簧片单侧载体加桥接载体

①—冲导正孔　②—切除余料　③—冲小孔　④、⑤、⑥—切除余料　⑦—切舌

⑧—首次弯曲　⑨—弯曲成形　⑩—切除桥接载体　⑪—切除载体、弯曲

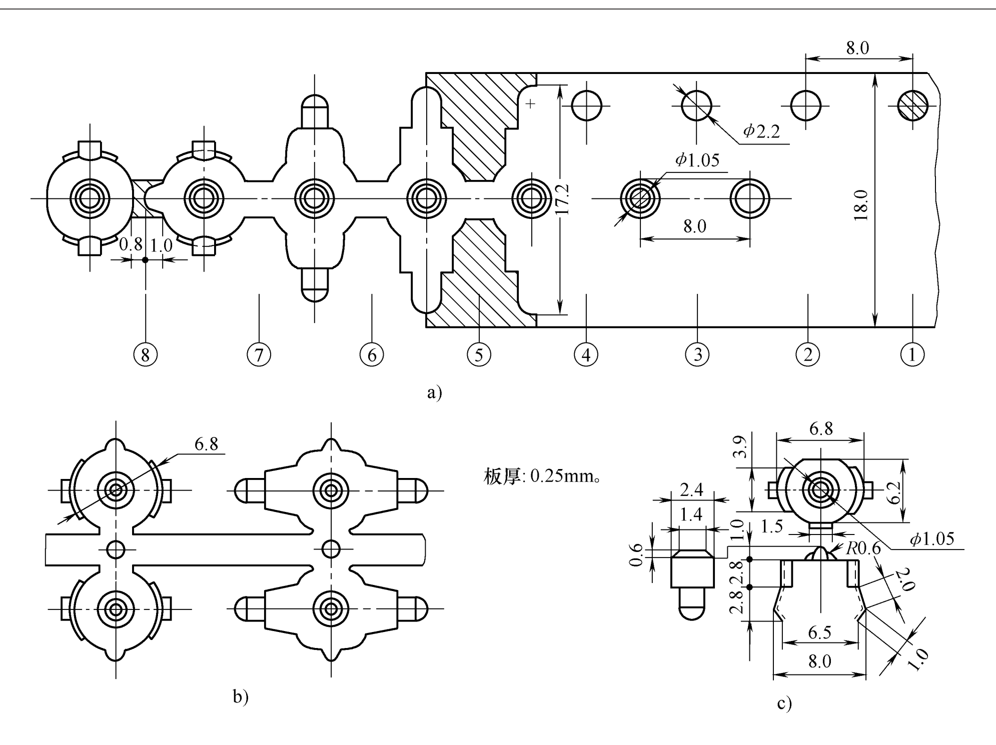


图 4-30　支架中间载体两种排样方法

4）对于靠近弯曲部分的孔，为简化模具结构，一般应先冲孔再弯曲成形，如果所冲孔形状要求严格，位置精度也较高，则应先做工艺试验，确定精确孔形和孔位尺寸，必要时可先弯曲后再侧向冲孔，如图 4-35 所示。

5）对于弯曲后还在水平面上的孔，一般应先弯曲再冲孔，如图 4-36 所示，工位⑤为弯曲成形，工位⑥为冲 3 个孔。

6）平面毛坯弯曲后变为空间立体形状，因此，毛坯平面应离开凹模上平面一定高度，以便卷料携带工序件向前送进时不被凹模挡住，这一高度称为送进线高度。在满足工序件能顺利送进的条件下，送进线高度应尽量小，如图 4-37 所示

7）要注意冲压力的平衡，合理安排各工序以保证整个冲压加工的压力中心与冲模中心一致。

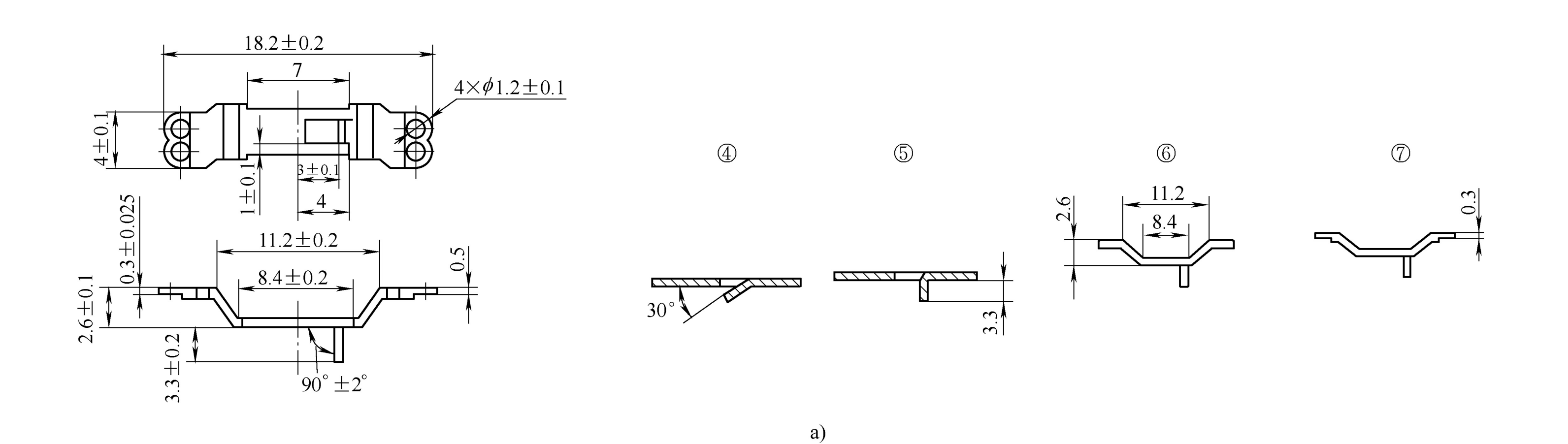
8）为保证冲模有足够的强度，并避免凸模安装时相互干涉，同时也便于试模和工序的调整，应合理设置空工位。

4. 分段切除余料的连接方式

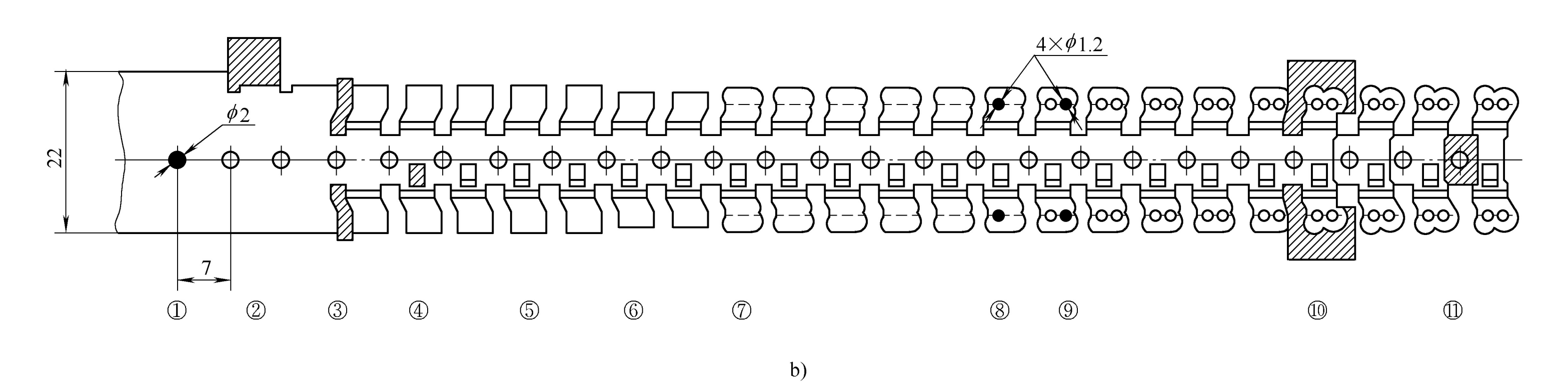
弯曲件毛坯尺寸展开以后，经过排样必须分段切除余料才能进行弯曲，在一次又一次冲切余料的交接部位，即接缝应是平直的，若连接不好，就会形成错位、尖角、毛刺等缺陷。

分段切除余料其连接方式有三种，即搭接、平接和切接。

（1）搭接　搭接是利用弯曲件毛坯尺寸展开以后，将外形的折线连接处分解为若干个型孔，进行分工位冲切，每两个工位间型孔连接处都留出一个搭接区，以保证各型孔间连接良好。因此，取弯曲件毛坯展开后的形状中折线连接点进行冲切连接的方式称为搭接，如图 4-38 所示，图 4-38a 中 3 为要切除的余料，2 为载体，1 为导正销孔，图 4-38b 为先冲切型孔的两边，图4-38c 为冲切型孔的中间。每次冲切的型孔间均有实际冲裁时不起作用的搭接区 4，主要是为防止型孔间连接时产生不应有的误差，以保证弯曲件在冲切后连接平滑、外形整齐，不出现错位、尖角、毛刺、缺口等缺陷。采用搭接冲切余料，产品质量较稳定。

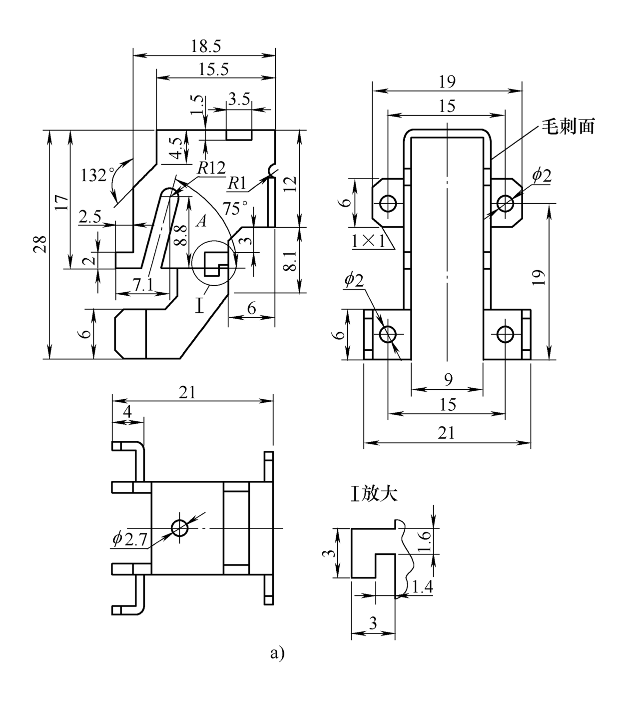


a)

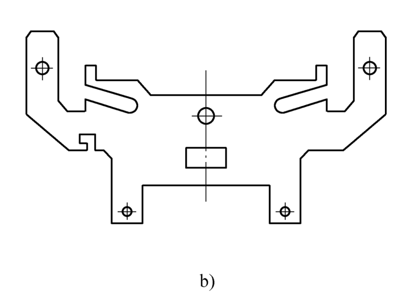


b)

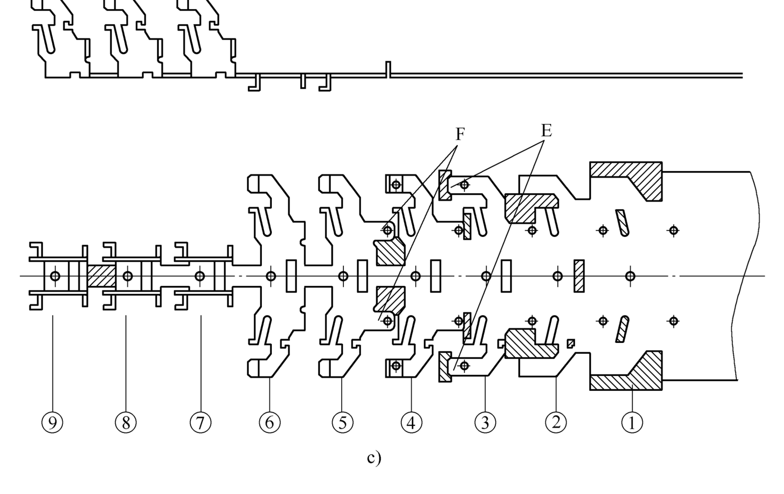
图 4-31　支架中间载体排样（一）



a)



b)



c)

图 4-32　支架中间载体排样（二）

a）零件图　b）展开图　c）排样图

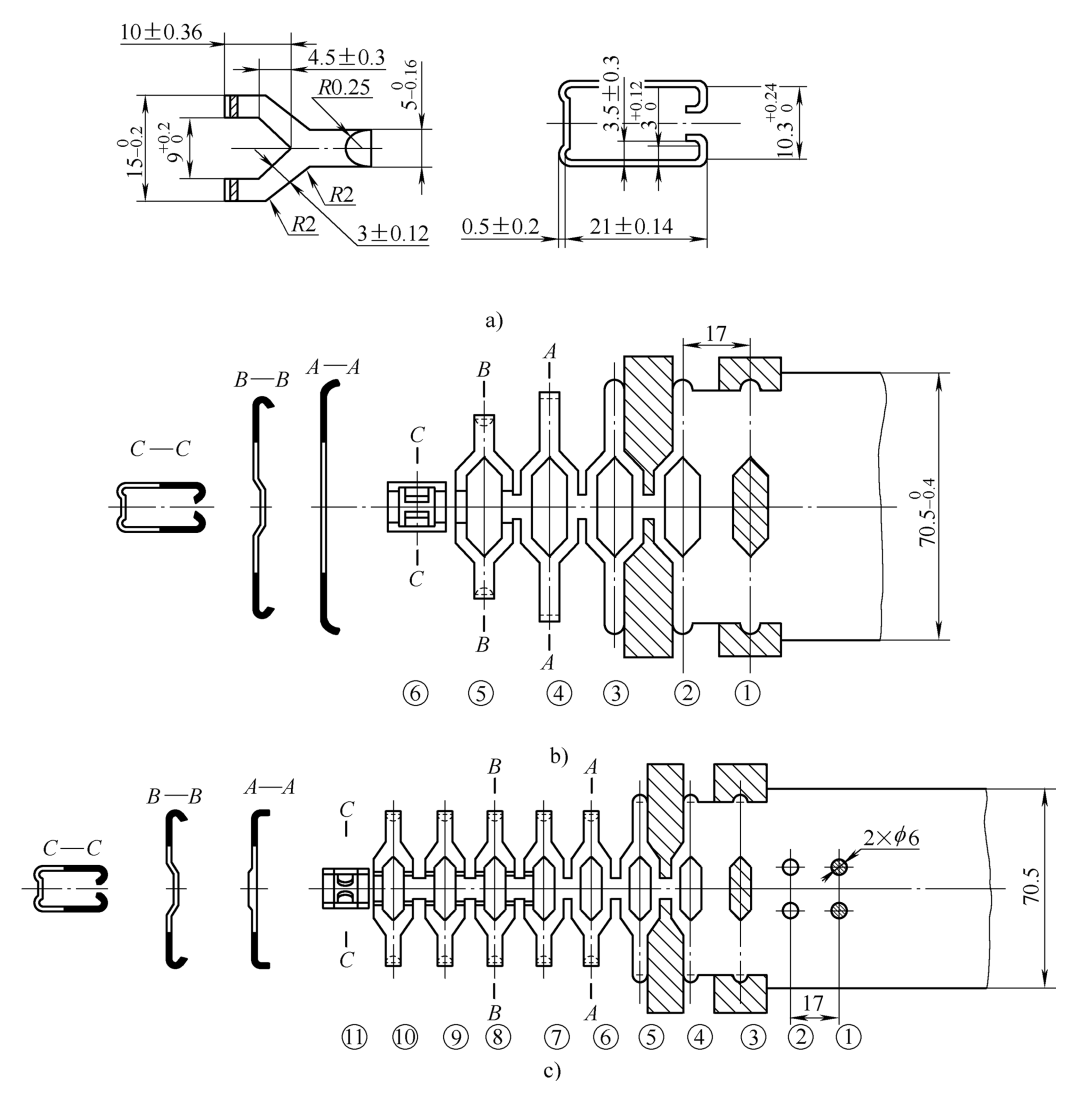


图 4-33　弹簧钩中间载体排样

a）制作（弹簧钩，材料为磷青铜，料厚 0.5mm）　b）排样一　c）排样二

（2）平接　平接是在弯曲件毛坯尺寸展开后的直边或斜边上先冲切去一部分，在以后某工位上再冲切余下的部分，先后冲切的直线或斜线段连接后成为一个完整的直边或斜边。采用平接容易出现错位、尖角、毛刺等缺陷，如图 4-39a 和图 4-39b 所示，因而，应尽量少用，如必须采用时，应在平接工位设置导正销，并在平接凸模延长部分设计 3°～5°的斜角，如图 4-39c 所示，以避免因各种误差累积而在连接处产生明显的缺陷。

在实际生产中，由于弯曲件的形状及冲压加工的需要必须采用平接。为保证平接质量，在不影响弯曲件精度和使用功能的情况下，可采用在平接处增设工艺缺口的方法来保证平接的连接质量，如图 4-40 所示。

（3）切接　切接的方式和平接类似，是在弯曲件的圆弧部分进行分工位冲裁的连接方式，即在前一工位先冲切一部分圆弧段，再在以后某一工位切出剩余圆弧的方式。图 4-41a 所示为第一次冲切后的弯曲件的外形，图 4-41b 所示为第二次冲切切接凸模 4 的情况。切接同样易出现错位、尖角、毛刺等缺陷，因此，为防止上述缺陷，同样在切接处增设工艺缺口。

排样图

图 4-34　弯曲工序分解成多工序弯曲

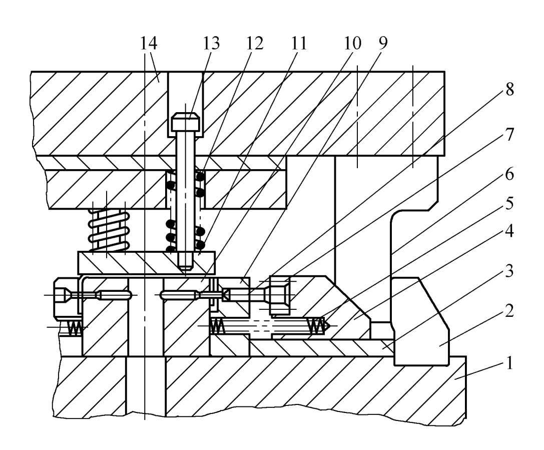
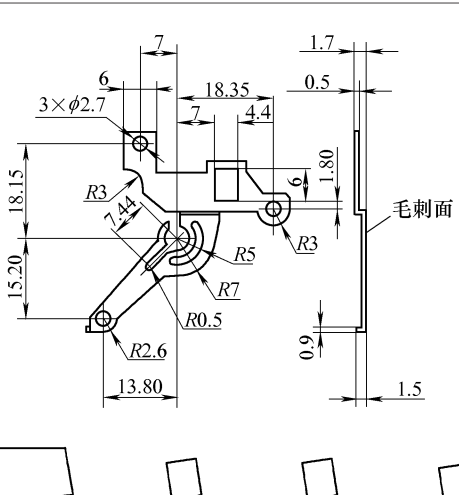


图 4-35　弯曲后侧向冲孔

1—下模座　2—限位块　3—垫板　4—斜滑块　5、12—弹簧　6—斜楔　7—凸模固定板　8—凸模　9—卸料板　10—凹模　11—压料板　13—卸料螺钉　14—上模座



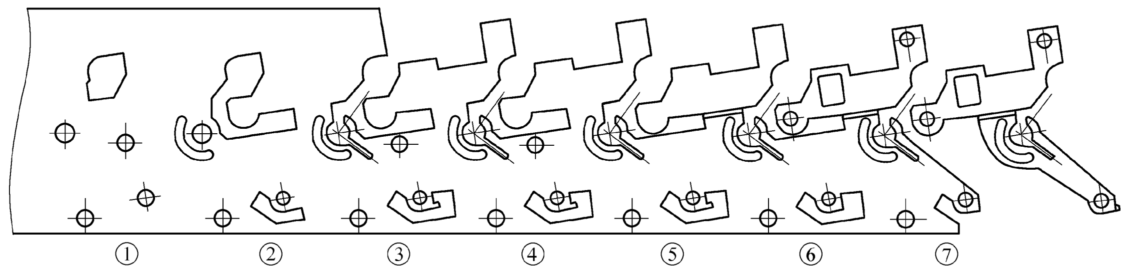


图 4-36　先弯曲成形再冲孔

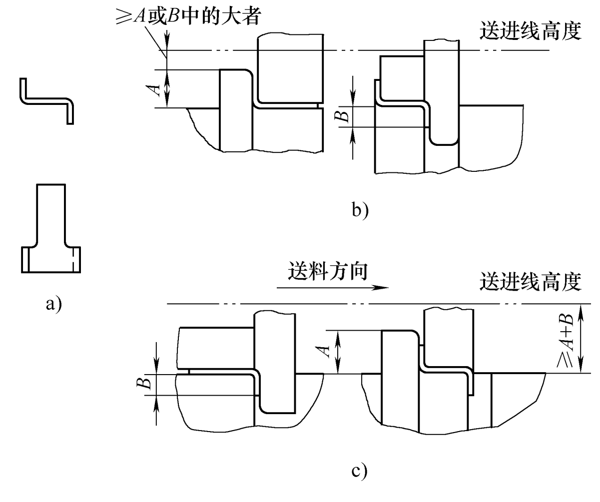


图 4-37　送进线高度

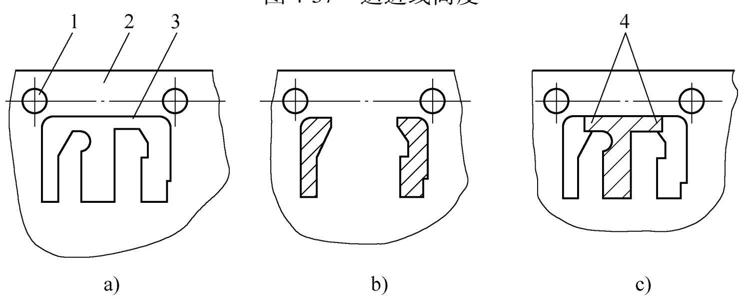


图 4-38　搭接连接方式冲切过程

1—导正销孔　2—载体　3—要切除的余料　4—搭接区

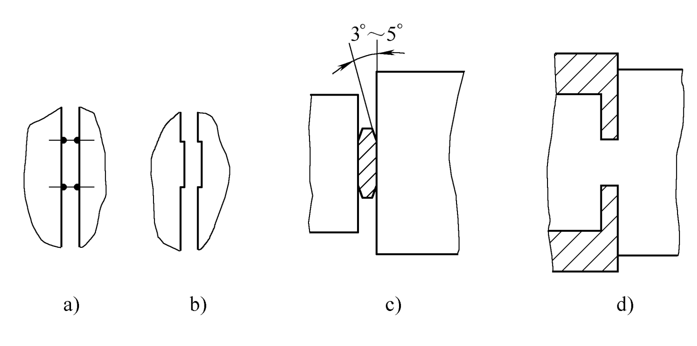
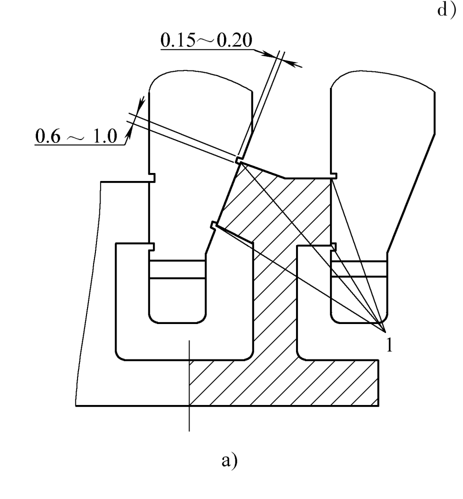


图 4-39　平接

a）平接产生的尖角或毛刺　b）平接产生的错位　c）平接最后冲切凸模的设计

d）平接最先冲切的凸模设计



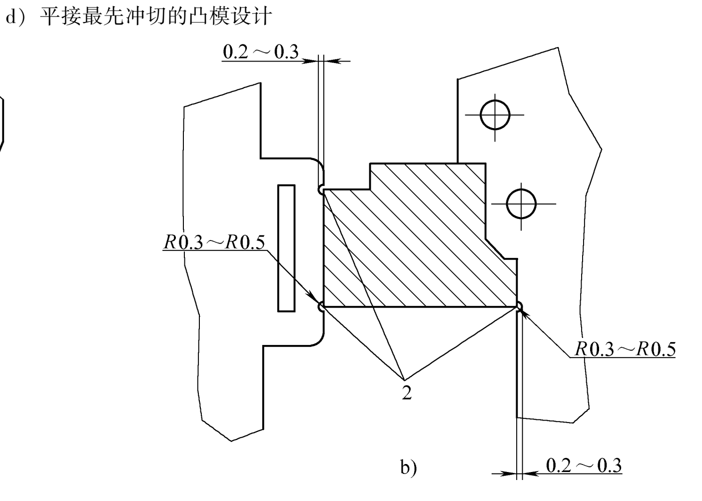
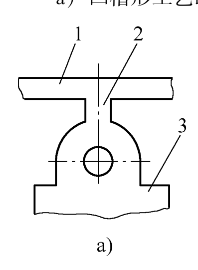


图 4-40　采用工艺缺口的平接

a）凹槽形工艺缺口　b）凹圆弧工艺缺口



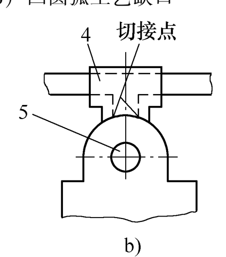


图 4-41　切接

a）第一次冲切后的弯曲件的外形　b）第二次冲切切接凸模设计

1—载体　2—工艺搭边　3—弯曲件　4—切接凸模　5—工艺孔

第四节　冲裁弯曲成形级进模的弯曲方法

从冲压工艺可知，弯曲成形主要有向上弯曲成形，向下弯曲成形和复合弯曲成形，另外还有侧向弯曲成形。

一、弯曲件向下弯曲成形

弯曲件向下弯曲成形，一般用于弯曲角度≥90°的弯曲件，常以弯曲角度为 90°为最多，弯

曲成形凸模安装在上模部分，弯曲成形的凹模镶块安装在下模部分。

1. 常用向下弯曲成形凸模结构形式

图4-42所示为冲裁弯曲级进模中常用的装在上模的向下弯曲成形凸模的结构形式，其安装方式主要有台肩固定（图4-42a、b）；螺钉固定（图4-42c）；横销固定（图4-42d）三种。

为了便于基准统一，易于调整，加工更换方便，压弯间隙一般设置在凸模部分，如图4-42所示，同时为保证弯曲件的精度，弯曲单边间隙取 $Z=t$，对于弯曲精度要求较高的弯曲件可在后面工位中进行整形。

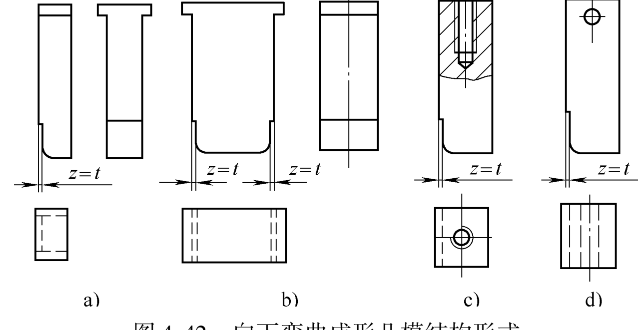


图4-42　向下弯曲成形凸模结构形式

2. 向下弯曲成形凹模镶块的结构形式

图4-43所示为冲裁弯曲成形级进模中常用的装在凹模或凹模固定板中的向下弯曲成形凹模镶块的结构形式，其安装方式有：台肩固定（图4-43a、b）；螺钉固定（图4-43c）。为了使直角弯曲件有较高的精度，在弯曲成形凹模镶块弯曲部位设计出一小凸台，如图4-43所示，在弯曲时对材料进行镦压，以强化折弯处的塑性变形，减少弯曲后的回弹，弯曲成形凹模镶块一般是固定的，但有时必须是活动的，如图4-45所示。

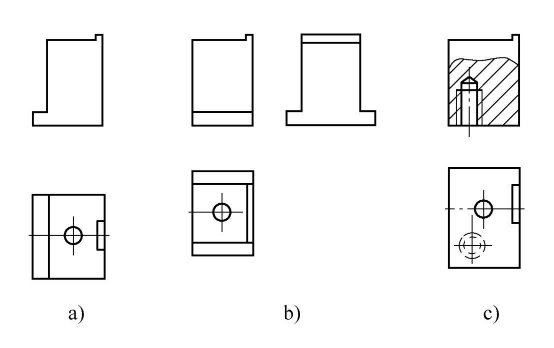


图4-43　向下弯曲成形凹模镶块结构形式

3. 弯曲件向下弯曲成形的结构形式

图4-44所示为弯曲件向下弯曲冲裁弯曲级进模中弯曲工作部分结构形式，弯曲件向下弯曲成形工序过程是：当将已冲切好弯曲部分外形的卷料送到弯曲成形工位后，上模下行，上模中的导正销伸入导正销孔对卷料精定位，然后卸料板2贴紧

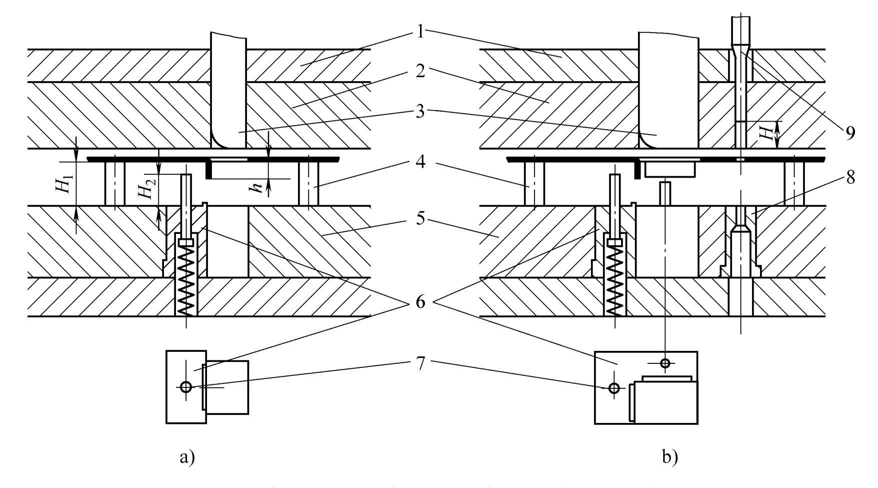


图4-44　弯曲件向下弯曲成形弯曲工作部分结构形式

1—卸料板垫板　2—卸料板　3—弯曲成形凸模　4—托料销　5—凹模

6—弯曲成形凹模镶块　7—弹顶杆　8—冲孔凹模镶块　9—冲孔凸模

卷料继续下行，同时下模内设置的托料销 4 和弹顶杆 7 向下运动，待卸料板 2 和凹模 5 将卷料压牢后，弯曲成形凸模 3 开始对毛坯进行压弯成形，一般压弯凸模进入凹模的有效深度应大于弯曲件高度的 2/3。如弯曲件中多处弯曲高度不同，则各工位上的弯曲凸模高度也不同。弯曲成形结束后，压力机滑块带动上模回升，弯曲成形凸模首先退入卸料板，当卸料板的压力消除后，托料销 4 和弹顶杆 7 托住卷料浮离凹模 5 上平面一定高度，弹顶杆 7 的高度 H_2 一般不小于弯曲件高度 h，托料销 4 高度 H_1 应为弯曲件中最大弯曲成形高度尺寸再加上 2 ~ 5mm 的安全量，以保证卷料在冲模内的送料通畅无阻。从图 4-44b 中可知，弯曲成形凸模与冲裁凸模存在一个高度差 H，在冲裁、弯曲级进模中，应是弯曲成形即将结束或已经结束时开始冲裁工序的冲压加工。

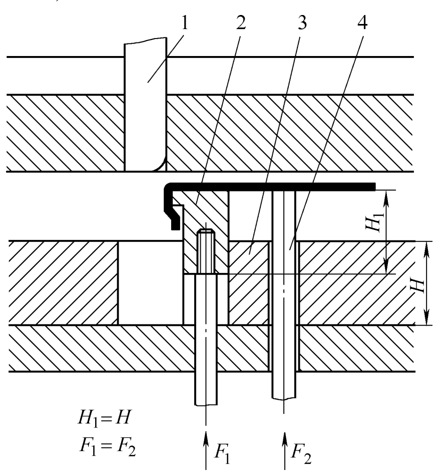


图 4-45　弯曲件向下弯曲成形凸、凹模结构形式

1—弯曲成形凸模　2—活动弯曲成形凹模　3—凹模　4—托料销

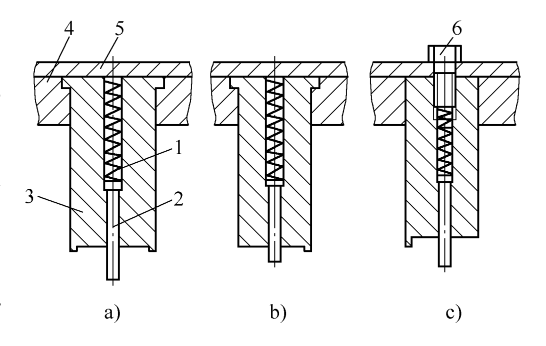
对于需两次或多次以上弯曲成形才能完成的弯曲加工，凹模中弯曲成形镶块应设计成活动的，如图 4-45 所示的活动弯曲成形凹模 2，同时预留出前一工位已成形形状的让位空间，为保证弯曲件成形精度，活动弯曲成形凹模 2 的高度 H_1 与凹模厚度 H 应完全一致，弯曲件的成形顶出力 F_1 与托料销的弹簧力 F_2 也应完全一致，以防止弯曲件成形后因顶件力不一致而造成弯曲件的后弯形。

二、弯曲件向上弯曲成形

在冲裁弯曲级进模中，弯曲件向上弯曲成形，弯曲凸模安装在凸模固定板中的常称压弯凸模。弯曲成形的凹模镶块装在下模的凹模或凹模固定板中。

1. 向上弯曲成形凸模的结构形式

图 4-46 所示为冲裁、弯曲级进模中常用的装在上模的向上弯曲的凸模结构形式，图 4-46a、b 所示为采用台阶固定装在凸模固定板上的弯曲凸模，图 4-46c 所示为采用螺钉固定装在凸模固定板上的弯曲凸模，图 4-46d、e 所示为采用台阶固定在卸料板上的弯曲凸模。为防止弯曲变形和弯曲成形后的后变形，应在凸模上设置弹顶装置，图 4-46 所示为采用弹簧 1、推杆 2 组成的弹顶装置。为了使直角弯曲件有较高的精度，可在弯曲凸模 3 上设计一小凸台，在弯曲时对材料进行镦压，以强化折弯处的塑性变形，以减少弯曲后的回弹。



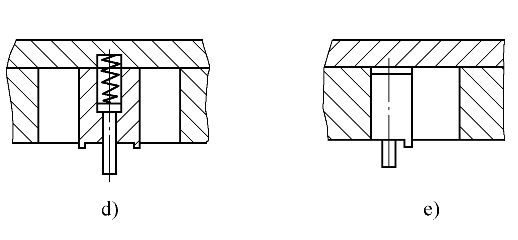


图 4-46　向上弯曲成形凸模

1—弹簧　2—推杆　3—弯曲凸模　4—固定板　5—垫板　6—螺钉

2. 向上弯曲成形凹模镶块的结构形式

图 4-47 所示为冲裁、弯曲成形级进模中常用的装在凹模或凹模固定板中的向上弯曲成形凹模镶块的结构形式，图 4-47a、b 为台肩固定式，图 4-47c为螺钉固定式。

3. 弯曲件向上弯曲成形的结构形式

图 4-48a、b 所示分别为两个向上弯曲和一个向上弯曲成形凸、凹模的工作部分结构形式，弯曲凸模 3 用台肩固定在卸料板 2 内，弯曲凹模镶块 5 用台肩固定在凹模 8 中，成形顶块 4 的高度 L_1 一个由螺钉控制，一个由台肩控制，成形顶块和凹模的厚度绝对值应完全一致。弯曲凹模镶块、成形顶块和托料销及活动导料销的高度之差要求如图 4-48 所示。

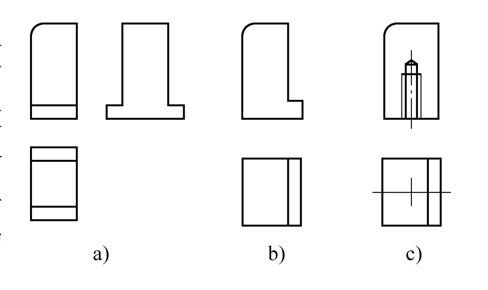


图 4-47　向上弯曲成形凹模镶块

图 4-49 所示为弯曲件钝角弯曲成形结构弯曲件向上弯曲成形凸、凹模工作部分结构形式。

图 4-50 所示为需在同一工位上完成切断、弯曲两个工序的冲压或需最后从载体上分离出制件时，同时进行弯曲成形的向上弯曲的结构形式。必须是在当卸料板 2 与下模的成形顶块 8 压紧卷料弯曲成形处切断，再逐步进行后面的弯曲成形，切断凸模的高度差要大，以留有先切断后成形的时间差。

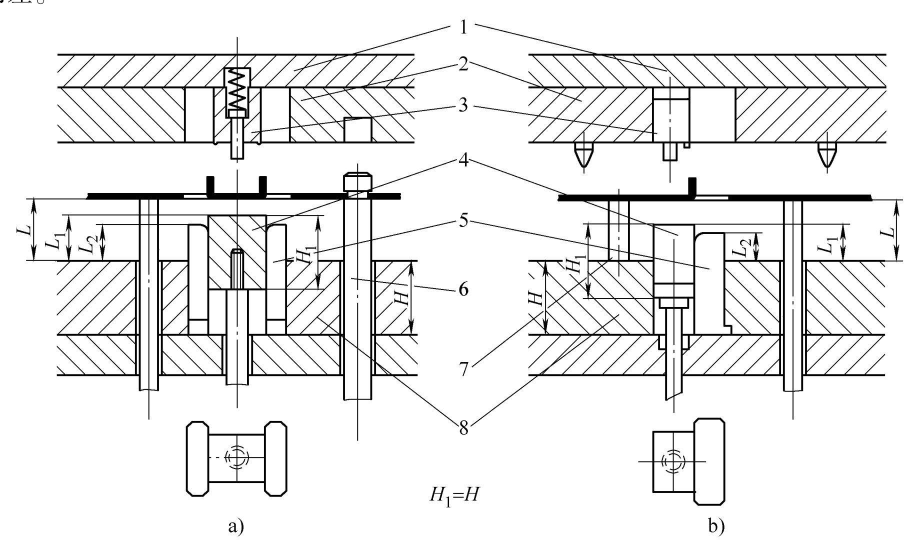


图 4-48　向上弯曲成形凸、凹模的工作部分结构形式

1—卸料板垫板　2—卸料板　3—弯曲凸模　4—成形顶块　5—弯曲凹模镶块　6—活动导料销　7—托料销　8—凹模

三、侧向成形机构

由于冲裁弯曲级进模中，弯曲件的种类很多，形状各异，而且不少制件尺寸精度和形位公差要求较高，有的需要侧向弯曲成形，有的需要用侧向轴芯机构弯曲成形，有的需要弯曲后侧向冲孔等。由于压力机滑块运动是垂直上下运动，因而，侧向成形机构一般是通过斜楔和滑块来完成的。

1. 斜楔和滑块的设计要求

1）侧向成形机构的设计应保证卷料的顺利送料，并在模具中留有足够的安装空间。

2）应按不同的冲压工艺要求合理选择斜楔、滑块的配合形式，并避免和防止与其他冲压机构产生干涉而影响模具的正常冲压生产。

3）根据先冲裁后成形，先压料后变形的原则，在侧向冲压成形前，卷料必须先完全定位和压紧，侧向冲压成形结束后，侧向冲压机构应先退出冲压工作区，上模随压力机滑块返回上止点，顶料装置托起卷料浮离凹模表面。

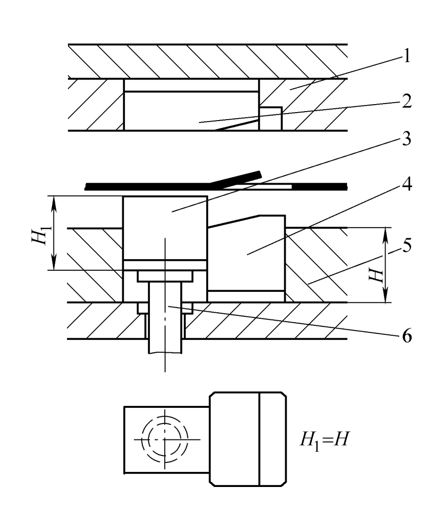


图 4-49　钝角向上弯曲成形凸、凹模工作部分结构形式

1—卸料板　2—弯曲凸模　3—成形顶块　4—弯曲凹模镶块　5—凹模　6—托料销

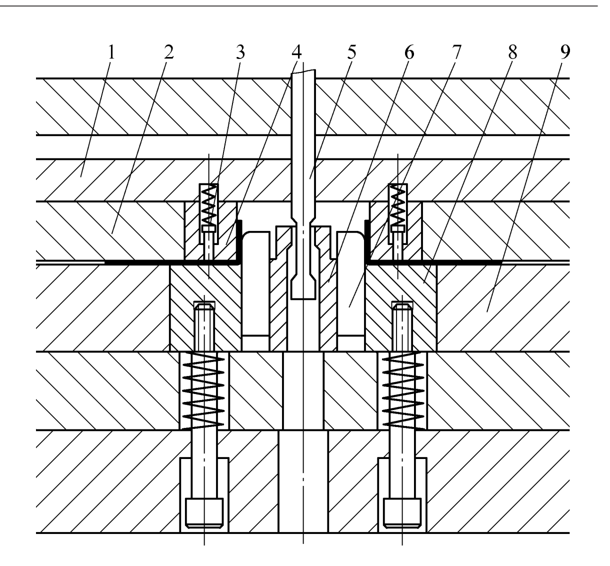


图 4-50　同一工位冲切向上弯曲一次成形的凸、凹模工作部分结构形式

1—卸料板垫板　2—卸料板　3—推杆　4—弯曲凸模　5—冲切凸模　6—冲切凹模镶块　7—弯曲凹模镶块　8—成形顶块　9—凹模

4）为保证滑块运动可靠，斜楔的有效行程 S_1 应大于滑块行程 S，斜楔角度 α 一般可取 40°。合理的滑块高度 H 应小于滑块的长度，一般取 $L=(1.2\sim2)H$，并保证斜楔开始推动滑块时，推力的合力作用线处于滑块长度 L 之内，如图 4-51 所示。

2. 斜楔和滑块的运动分析

（1）水平运动　图 4-52 为斜楔和滑块的水平运动，为确保运动平稳可靠，当斜楔开始推动滑块时，斜楔和滑块的斜面接触长度 $b_1 \geqslant b/5$，斜楔运行到下止点时，保证 $a>5$mm，可取 45°、50°；在行程要求很大，又受到结构限制的特殊情况下，可取 55°、60°。α 与 S/S_1 的关系见表 4-11。

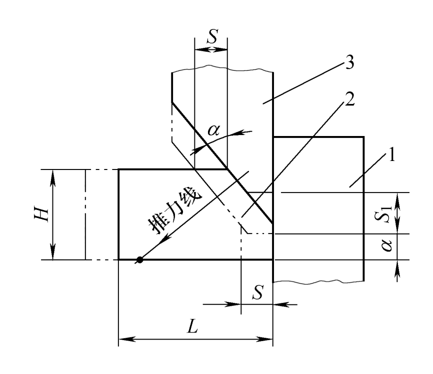


图 4-51　斜楔与滑块尺寸关系

1—挡块　2—滑块　3—斜楔

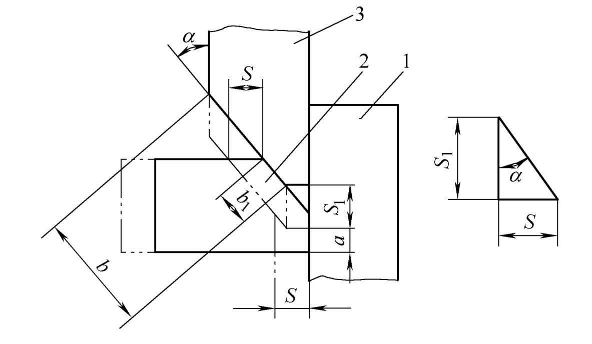


图 4-52　滑块水平运动

1—挡块　2—滑块　3—斜楔　S—滑块行程　S_1—斜楔行程

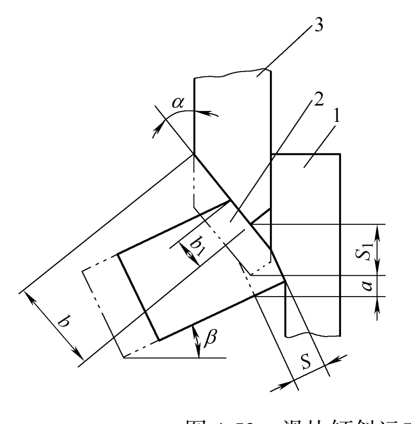
表 4-11　滑块水平运动 α 与 S/S_1 的关系

α	30°	40°	45°	50°	55°	60°
S/S_1	0.5773	0.8391	1	1.1917	1.4281	1.732

（2）倾斜运动　图 4-53 所示为斜楔和滑块的倾斜运动，斜楔角度 α 一般取 45°。为了增大滑块行程 S，可取 50°、60°；在行程要求很大又受到结构限制的特殊情况下，可取 65°、70°但必须满足（$90° - \alpha + \beta$）≥45°，滑块行程 S 与斜楔行程 S_2 的比值

$$\frac{S}{S_1} = \frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha - \beta)} \tag{4-9}$$

α、β 角度与 S/S_1 的关系见表 4-12。



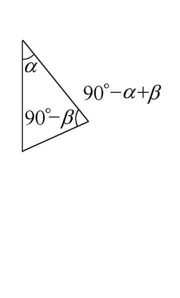


图 4-53　滑块倾斜运动

1—挡块　2—滑块　3—斜楔

S—滑块行程　S_1—斜楔行程

3. 斜楔和滑块的受力分析

斜楔和滑块斜面接触状态下的受力情况如图 4-54 和图 4-55 所示。

表 4-12　滑块倾斜运动 α、β 与 S/S_1 的关系

α \ β (S/S_1)	10°	12°	14°	16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°
45°	0.8635	0.8432	0.8244	0.8091	0.7886	0.8706	0.7680	0.7570	0.7479	0.7396	0.7321
50°	1	0.8865	0.8636	0.8425	0.8237	0.8065	0.7911	0.7776	0.7645	0.7536	0.7435
55°	1.158	1.120	1.085	1.030	1.026	1	0.9775	0.9551	0.9363	0.9200	0.9042
60°	1.348	1.294	1.247	1.204	1.165	1.131	1.099	1.081	1.044	1.022	1
65°	1.589	1.505	1.440	1.381	1.328	1.281	1.239	1.173	1.151	1.134	1.106
70°	1.879	1.773	1.681	1.598	1.526	1.462	1.405	1.353	1.271	1.265	1.227

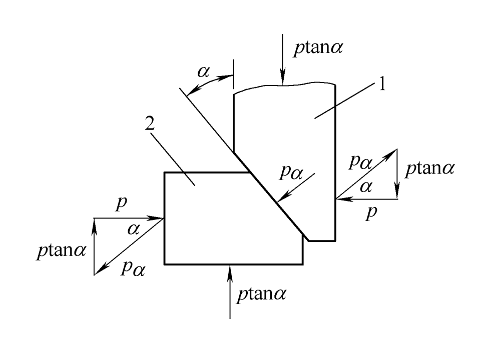


图 4-54　滑块水平运动受力图

1—斜楔　2—滑块　p—冲压力

p_α—斜楔和滑块之间的正压力

$p\tan\alpha$—压力机滑块所需的压力

α—斜楔角度

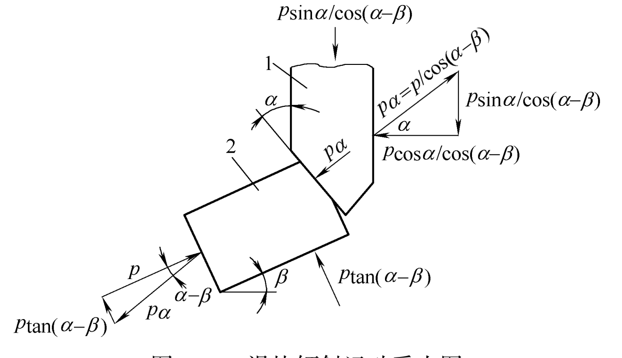


图 4-55　滑块倾斜运动受力图

1—斜楔　2—滑块　p—冲压力　p_α—斜楔和滑块之间的正压力　$p\sin\alpha/\cos(\alpha-\beta)$—压力机滑块所需压力　α—斜楔角度　β—滑块倾斜角度

$p\tan(\alpha-\beta)$—滑块正压力

4. 斜楔与滑块配合形式和应用

在冲裁弯曲成形级进模中，使用的斜楔主要有单斜面斜楔、双斜面斜楔和复合斜面；按斜楔与滑块的传动配合面有几段可分为一段配合面、两段配合面和三段配合面，见表 4-13。每段配合面的作用分别称为导向限位段、控制冲压行程 S 段及延时冲压段。

表 4-13　斜楔与滑块传动配合面形式和应用

序号	基本形式	简图	适用范围和使用特点
1	单斜面斜楔一段配合面		该机构为最常用的侧向冲压机构，适用于一般冲切、侧向弯曲、成形、压形、抽芯等。需设置限位块，用于限制滑块的复位位置和抵消斜楔的侧向压力。滑块常用弹簧复位。单斜面一段配合面Ⅰ为控制冲压行程 S 段，图中斜楔②自接触滑块开始至斜楔到达下止点位置③止，滑块移动距离为 S，$S<b$
2	单斜面斜楔两段配合面		该机构为最常用的侧向冲压机构，适用于冲压过程中需要延时冲压段的侧向运动。如侧向冲切、侧向弯曲、成形、抽芯等。需设置限位块，延时的长短由 L 长短控制，单斜面两段配合面中Ⅰ段为控制冲压行程 S 段。图中斜楔②自接触滑块开始至斜楔达到位置③，滑块移动距离为 S，且 $S=b$，斜楔继续下行，进入延时冲压段Ⅱ。此时滑块的滑块处于静止不动状态，斜楔由位置③到达下止点位置④，延时长度为 L。回程时，斜楔由④回到③，滑块依然保持静止不动，结束延时冲压段Ⅱ。继续回程，斜楔由位置③到②至①，滑块在弹簧力的作用下复位

（续）

序号	基本形式	简图	适用范围和使用特点
3	双斜面斜楔两段配合面		适用于冲压力、卸料力均较大的侧向冲切、成形、弯曲等，并能防止侧向冲压时可能产生的动作干涉 斜楔的Ⅰ段为导向限位段，即斜楔由①到②，斜楔和滑块斜面开始接触时，斜楔斜面以下的直线段配合面与滑块以下的直面接触这一段，限制滑块在原位置不动，当斜楔由②到③时，滑块移动距离为 S，完成冲压工作回程时，滑块的复位由斜楔的另一斜面靠机械力完成 使用此机构应注意，Ⅰ段的长度应足够，并有可能会伸到压力机台面孔内。由于是靠斜楔Ⅰ段控制滑块的复位，复位位置有可能变动，为了安全，可再加一个弹簧复位。$m_0>m$；$n_0>n$ 其间隙值在 0.1 ~0.25mm 之间
4	双斜面斜楔三段配合面		适用于较大抽芯力的送进，图中Ⅰ、Ⅱ段与两段配合面相同，位置由③到④为第Ⅲ段即延时冲压段。其作用与单斜面斜楔两段配合面中的Ⅱ效果一样

（续）

序号	基本形式	简图	适用范围和使用特点
5	双斜面斜楔		斜楔的第一斜面先使滑块 1 左移推动滑块 2 与滑块 3 上升，斜楔的第二斜面推动工作滑块左移进行所需的冲压工作

5. 侧向冲压滑块的复位

冲裁弯曲成形级进模中，滑块在斜楔作用下侧向冲压后，应及时准确地复位，才能保证卷料自动连续送进，模具持续稳定的冲压。滑块的复位主要有弹性复位和刚性复位两种方式。单斜面斜楔一般采用弹簧复位，双斜面斜楔可采用刚性复位，也可采用弹簧复位，双斜面斜楔可采用刚性复位，也可采用弹簧复位。

斜楔刚性复位动作过程如图 4-56 所示。图 4-56a 所示为斜楔与滑块离开时的状态，这种刚性复位有可能使滑块位置移动，为了安全，应再加一个弹簧复位。如采用纯刚性复位，斜楔复位后应如图 4-56e 所示，即斜楔不能离开滑块。

图 4-56b 所示为斜楔下行时的状态，斜楔的 A 面与滑块 C 面接触后，斜楔继续下行，推动滑块按图中箭头所指方向朝右移动。

图 4-56c 表示斜楔继续下行后的状态，斜楔 A 面与滑块 C 面完全分开，此时，滑块行程为 S，若斜楔继续下行，滑块则保持不动。

图 4-56d 所示为斜楔从下止点开始回升时的状态，斜面 B 与滑块的 D 面接触，斜楔继续回升，则推动滑块按箭头所指方向朝左滑动，使滑块回复到原来的起始状态，实现机械强制刚性复位。复位后如图 4-56e 所示。

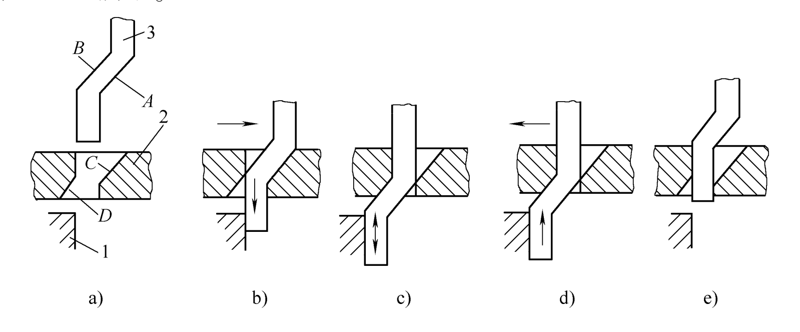


图 4-56　斜楔刚性复位示意图

1—挡块　2—滑块　3—斜楔

6. 侧向冲压装置应用示例

图 4-57 为侧向冲孔弹压卸料结构示意图。冲孔前将已弯曲好的部分随卷料载体送到凹模固定板 11 处定位，以保证自动连续送料顺利进行。在凹模固定板 11 和弯曲毛坯进入接触处应设计

有一定斜度作为引导部分。滑块的复位通过双斜面斜楔的机械力刚性强制复位。

图 4-58 为利用单斜面斜楔对称侧向卷圆示意图。当斜楔 11 和滑块凹模 3 的斜面接触，推动滑块对制件进行卷圆，制件成形后，上模回升，滑块在弹簧 5 的作用下复位，制件随卷料载体在托料销和浮动导料销的作用下浮离凹模平面，以便卷料顺利送进。

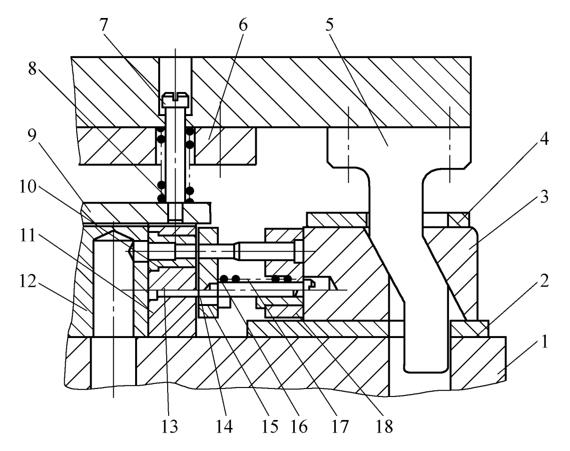


图 4-57　侧向冲孔弹压卸料结构示意图

1—下模座　2—垫板　3—滑块　4—盖板　5—斜楔　6、18—凸模固定板　7、16—卸料螺钉　8、17—弹簧　9—卸料板　10—凹模镶套　11—凹模镶套固定板　12—凹模板　13—小导柱　14—小导套　15—卸料板

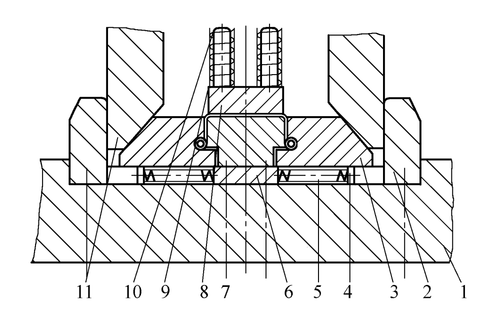


图 4-58　单斜面斜楔对称侧向卷圆示意图

1—下模座　2—限位块　3—滑块凹模　4—挡销　5、10—弹簧　6—垫板　7—下型芯　8—压料板　9—卸料螺钉　11—斜楔

图 4-59 为利用单斜面斜楔对称弯曲成形示意图，图 4-59a 为排样图，图 4-59b 为结构示意图。在工位⑤处需要对称地将毛坯向下弯曲 90°，下模中的型芯由中心分解成两块活动型芯 4，它又兼作滑块。当上模回升后，两块活动型芯在弹簧 7 的作用下合并在一起，合拼后的两块型芯之间尺寸 A_0 应小于制件尺寸 A，尺寸 A_0 应满足压弯后能顺利地随卷料载体浮离凹模平面的要求。

冲压开始时，压料板 2 首先将浮离凹模平面上的卷料载体压住，随后两斜楔 5 斜面推动活动型芯 4 上的斜面向外各移动一个行程 S，$S=\dfrac{A-A_0}{2}$。紧接着压弯凸模 1 对毛坯进行弯曲，冲压结束后，活动型芯在弹簧 7 的作用下复位。

下模座上设置的挡块 8 用于抵消斜楔的侧向力，克服斜楔的弹性变形，对提高弯曲件质量有好处。

图 4-60 为双斜面斜楔弯曲成形示意图。用左右各一个斜楔 1 长的部分先作用于滑块 2，推动滑块 2 向中心滑动的同时，带动活动凹模 3 向上运动，此时将定位于此的毛坯围

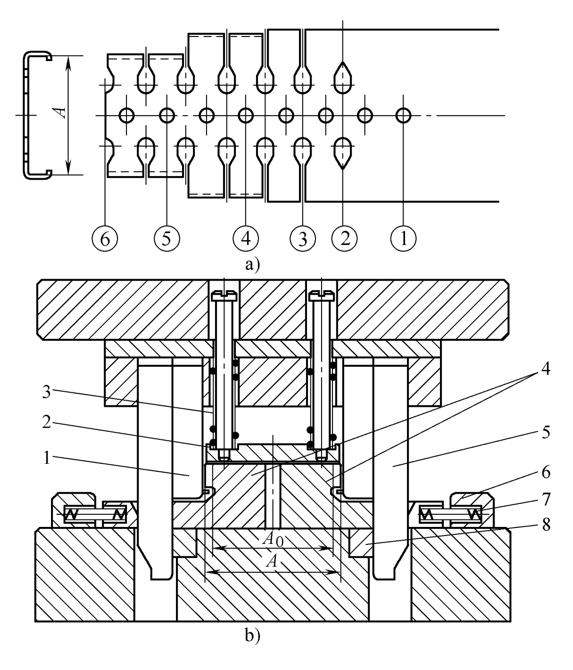


图 4-59　单斜面斜楔对称弯曲成形示意图

1—压弯凸模　2—压料板　3—弹簧　4—活动型芯兼滑块　5—斜楔　6—限位块　7—复位弹簧　8—挡块

绕弯曲型芯 4 向上预成形，斜楔继续下行，在滑块 2 处于静止状态后，斜楔 1 短部分的斜面与活动凹模 3 接触，斜楔继续下行，使活动凹模 3 的半圆弧紧紧将制件包在静止状态下的弯曲型芯 4 上，完成全部弯曲成形工作。

图 4-61 为冲裁弯曲成形级进模中侧压挤弯工位的结构示意图。弯曲部分要内收 45°，斜楔 6 控制滑动型芯 5 和摆动凸轮块 3 实现制件的侧向挤压成形。上模型芯 7 通过镦压垫板 8 对制件进行整形加工。

图 4-62 为冲裁弯曲成形级进模中剪切弯曲工位的结构示意图。制件在此工位从载体上切断并弯曲成形，弹顶块 11 件制件顶出。

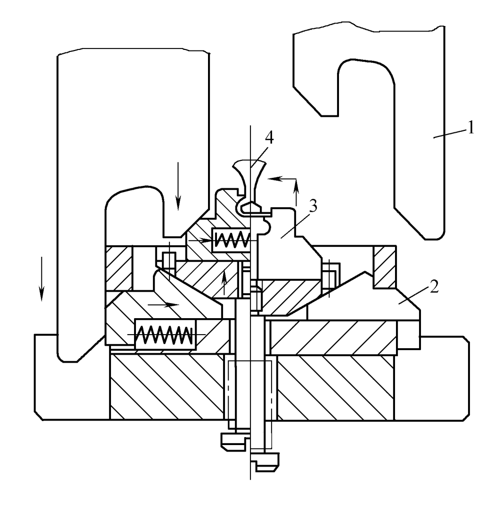


图 4-60　双斜面斜楔弯曲成形示意图

1—双斜面斜楔　2—滑块　3—活动凹模　4—弯曲型芯

图 4-63 为斜楔与滑块均设计在上模的弯曲工位结构示意图。当上模下行时，滑动模块 9 首先将毛坯压在下模顶件块 4 上，由于下模顶件块的弹簧力 F 远大于上模滑动模块弹簧力 Q，卸料板的弹簧力 G 又大于 F，因而，滑动模块 9 首先回升，并在斜楔 8 的作用下做侧向运动。当滑动模块 9 与 A 面接触后，侧向运动停止。上模继续下行，下模顶件块 4 被压下，毛坯开始进行弯曲，直至几个活动分型面镦实后，制件完成整个成形过程。

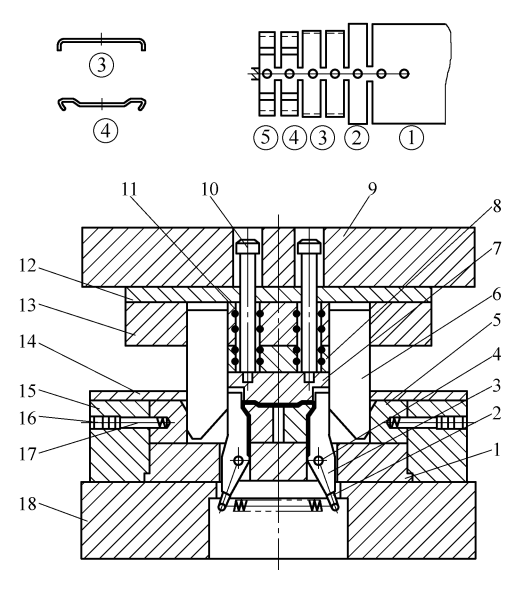


图 4-61　侧压挤弯工位的结构示意图

1—支板　2—拉簧　3—凸轮块　4—轴　5—滑动型芯　6—斜楔　7—上模型芯　8—垫板　9—上模座　10—卸料螺钉　11、17—弹簧　12—垫板　13—固定板　14—盖板　15—限位挡块　16—螺塞　18—下模座

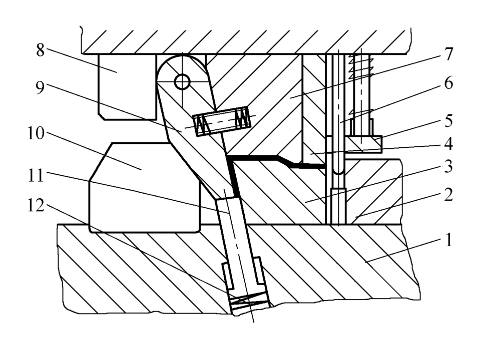


图 4-62　剪切弯曲工位的结构示意图

1—下模座　2—切断凹模　3—压弯凹模　4—切断凸模　5—压料板　6—导正销　7—压弯凸模　8—挡块　9—压弯凸模　10—斜楔　11—弹顶块　12—弹簧

图 4-64 为冲裁弯曲成形级进模中，常用的侧向抽芯机构之一示意图。其结构特点是：芯轴和斜滑块分为两部分，芯轴 11 是在可以浮动的芯轴座 13 上进行滑动，斜滑块 3 的前端装上一块

淬硬的挡块7，对芯轴进行冲击运动。芯轴在芯轴座的带动下，既做上下运动，又在斜滑块的冲击下做水平运动，从而满足弯曲成形抽芯运动的要求。

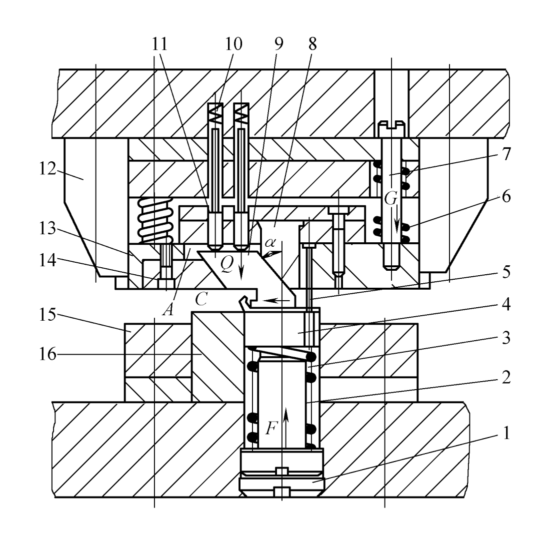


图4-63　斜楔与滑块均设计在上模的弯曲工位结构示意图

1—螺塞　2—弹簧芯柱　3、6、10—弹簧　4—顶件块　5—导正销　7—卸料螺钉　8—斜楔　9—滑动模块　11—推杆　12—导向板　13—弹压卸料板　14—斜导滑块　15—凹模板　16—凹模镶块

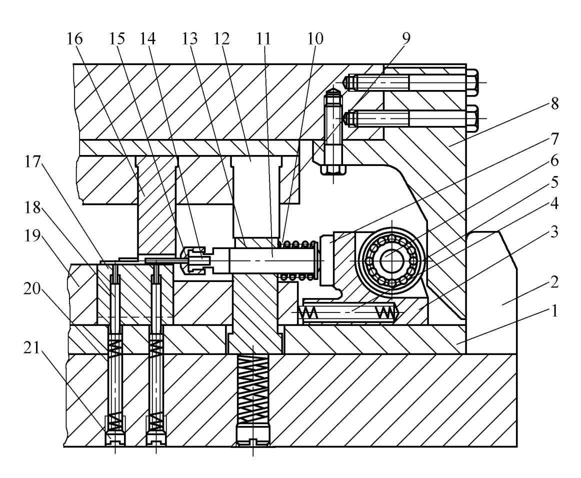


图4-64　侧向芯轴抽芯机构示意图

1—垫板　2—挡块　3—斜滑块　4、10、20—弹簧　5—轴承　6—轴　7—挡块　8—斜楔　9—固定板　11—芯轴　12—压块　13—芯轴座　14—芯轴　15—螺母　16—凸模　17—凹模镶块　18—弹顶销　19—凹模板　21—螺塞

图4-65为又一常用侧向抽芯机构示意图，在冲裁、弯曲成形级进模中，当卷料定位压紧后，该工位设置的活动成形抽芯4首先侧向送入模具，然后设在卸料板内的成形镶块2进行卷圆（或压弯）成形，卷圆（压弯）结束后，待成形镶件随卸料板先离开后，再侧向抽出型芯。这样，侧向抽芯运动的延时给同一模具其他冲压动作留出了时间差，冲压行程延时配合用斜楔最适合于侧向弯曲、成形、抽芯等加工。冲压行程中延时长短由 L 的长度所决定。

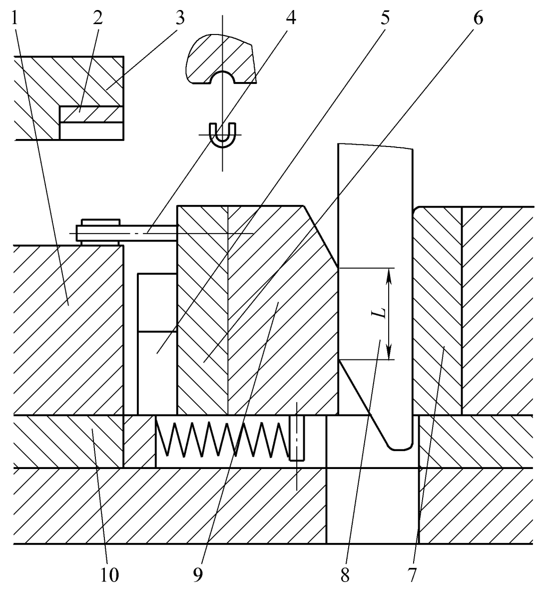


图4-65　侧向抽芯机构示意图

1—凹模板　2—成形镶块　3—卸料板　4—芯轴　5—滑座　6—芯轴固定板　7—挡块　8—斜楔　9—滑块　10—垫板

四、倒冲机构

所谓倒冲是指凸模或凹模的运动是由下向上完成冲压加工，倒冲机构多由主动杆、从动杆、杠杆、弹簧等来实现，也可采用双滑块机械来实现，如图4-60所示。它是冲裁、弯曲成形模中特殊的冲压机构。

图4-66为梭形杠杆倒冲机构切舌工位示意图。杠杆机构应有足够的强度和刚性，杠杆一般做成梭状较好，不仅增加杠杆的强度，受力合理，而且缩小了杠杆的体积。倒冲机构必须有有效的复位机构，本结构采用压缩弹簧9来实现复位。

图 4-67 所示为半圆形杠杆倒冲机构，它以整个圆形面做支承，强度大，使用效果好。从动杆 6、半圆形杠杆 2 和倒冲凸模 11 之间无机械连接，只有用限位杆 12 和限位螺钉 5 对凸模 11 和从动杆 6 进行限位，并防止其弹跳离开下模。倒冲后复位是由半圆形杠杆两侧的两个拉簧实现的。倒冲凸模靠自重复位。

半圆形杠杆与下模座之间增加一个经淬硬的圆弧垫板 1，一方面起到支承和依托的作用，便于杠杆 2 活动，另一方面有利于防止半圆形杠杆在冲压过程中上下窜动，对稳定冲压有好处。

图 4-68 所示为又一半圆形杠杆倒冲机构，它是冲裁、弯曲成形级进模中需要翻边的工位示意图。

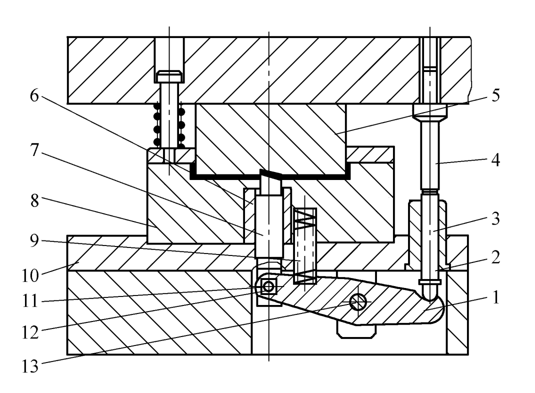


图 4-66　梭形杠杆倒冲机构切舌工位示意图
1—梭形杠杆　2—导向套　3—从动杆　4—主动杆　5—凸凹模　6—护套　7—凸模　8—凹模　9—压缩弹簧　10—垫板　11、13—轴　12—轴套

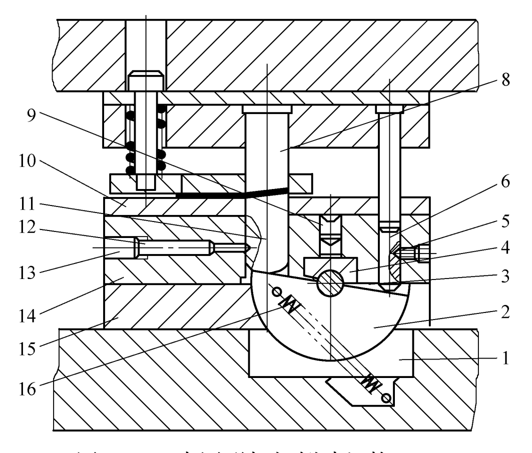


图 4-67　半圆形杠杆倒冲机构（一）
1—圆弧垫板　2—半圆形杠杆　3—轴　4—压块　5—限位螺钉　6—从动杆　7—主动杆　8—凹模镶块　9、13—螺塞　10—盖板　11—凸模　12—限位杆　14—下模套　15—垫板　16—拉簧

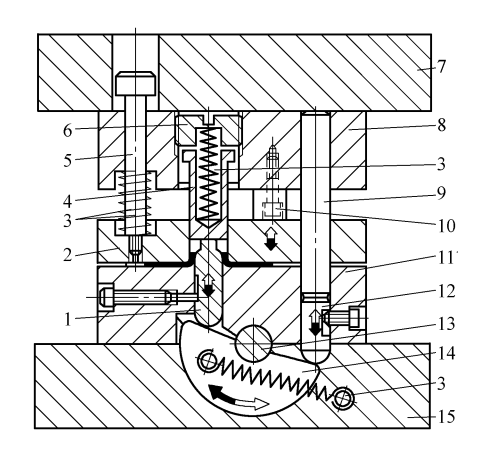


图 4-68　半圆形杠杆倒冲机构（二）
1—凸模　2—卸料板兼凹模　3—弹簧　4—推件块　5—卸料螺钉　6—螺塞　7—上模座　8—上模板　9—主动杆　10—限位块　11—下模板　12—从动杆　13—轴　14—半圆形杠杆　15—下模座

第五节　冲裁弯曲成形级进模的安全检测保护装置

在级进模中，尤其是高速、自动化冲压的生产中，为防止材料误送，模具或压力机突发故障而使模具或压力机损坏，甚至造成人身事故，在冲压过程中必须有制止失误的安全检测保护装置，检测装置可设在模具内，也可安装在模具外。在因某种原因影响到模具正常冲压时，检测的传感元件能迅速地把信号反馈给压力机的制动部位，实现自动保护。目前常用的是接触传感检测和光电传感检测。图 4-69 所示为在自动化冲压生产过程中，具有各种监视功能的检测装置示意图。

一、自动检测保护装置

1. 模具外的自动检测保护装置

模具外的自动检测与保护装置的主要作用是对卷料的自动检测与保护。图 4-70 所示是设置

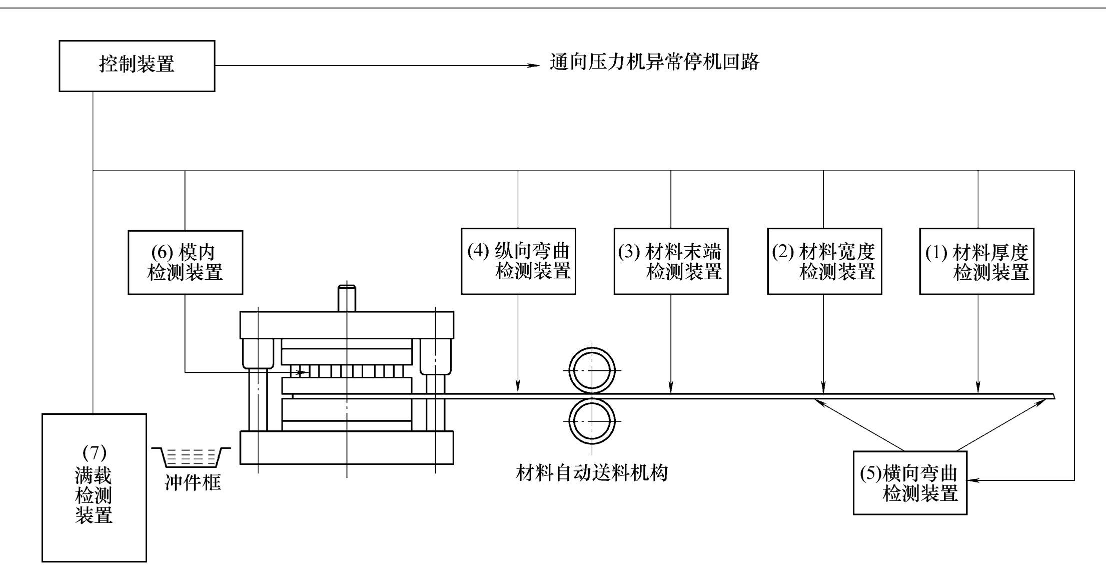


图 4-69　自动化冲压监测、检测装置示意图

在模具外，专门用来检测冲压材料厚度与宽度是否满足冲压生产要求的检测装置，它是一种采用光电传感器和传感触头及常闭限位开关的自动检测保护装置，其中包括材料是否输送结束而采用常开限位开关的检测装置。

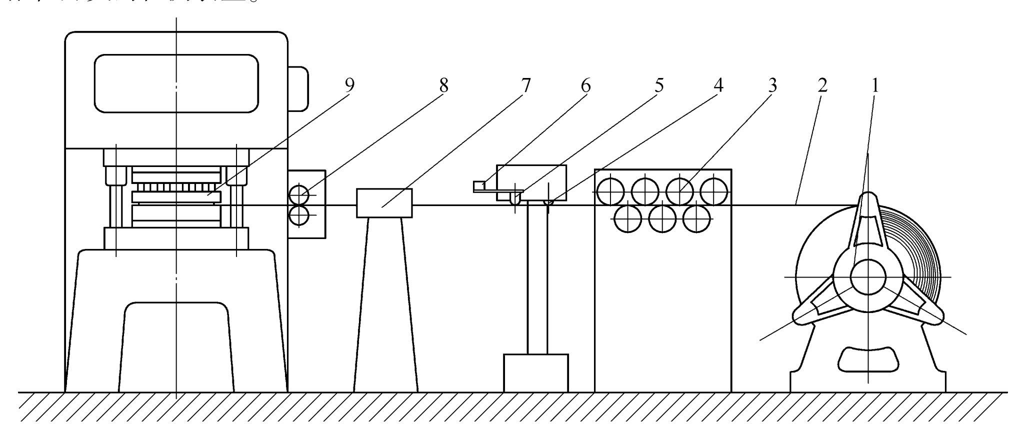


图 4-70　卷料送进过程监测、检测装置示意图

1—料架　2—材料　3—材料校平器　4—光电传感器　5—传感触头
6—控制开关　7—去污、上油装置　8—自动送料装置　9—模具

在料架上的卷料经校平装置校平后，先送到材料的检测与自动保护装置，再经去污、上油装置，最后由自动送料机构送入冲压工作区。

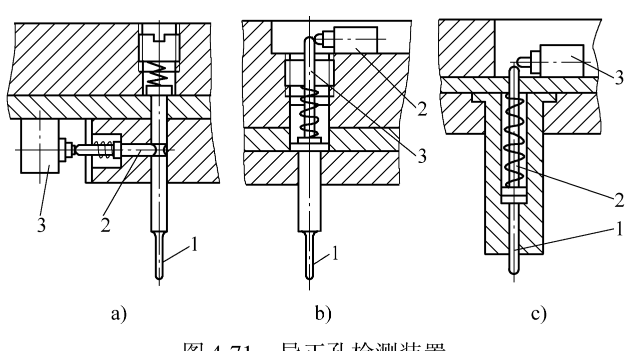


图 4-71　导正孔检测装置

1—浮动检测销　2—接触杆　3—微动开关

2. 模具内的自动检测保护装置

模具中常见的故障就是送料不到位，模具内的自动检测保护装置的主要作用是对送料不到位的自动检测与保护。常用的自动检测保护装置如图 4-71 所示。正常情况下，浮动检测销 1 的头部伸出卸料板

（图中未画出）下平面约2mm，当卷料送到位，检测销的头部能正确插入卷料的导正销孔中，接着材料被压牢开始正常冲压。如卷料送不到位，检测销的头部无法插入卷料导正销孔中，使检测销向上移动，迫使接触杆2使微动开关3闭合，发出故障信号，使压力机紧急停止工作。

图4-71a、b所示的两种形式大多是利用卷料上工艺废料冲导正销孔供导正和检测用，也有利用制件上本身的孔来导正的，如果利用制件本身的孔导正时，一般应把制件孔先冲得稍小一些供导正检测用，然后再冲制到所需尺寸，以消除导正时的划伤或孔的变形。图4-71c所示机构是制件孔径一般大于10mm，同样先在大孔中心冲一个供导正、检测用的销孔，在最后适当工位再将孔冲到要求的尺寸。

浮动检测销因调整简单，检测可靠，在级进模中被广泛使用。

二、防止废料或制件的回升与堵塞

高速冲压时的废料或制件有时没有从凹模落料孔下落，而是附着在凸模上，在凸模冲压回程时又带上去，称为废料的回升。

废料或制件的回升会影响冲压工作的正常进行，为了防止废料或制件的回升，在设计模具结构时，需要采取必要措施，保证冲下的废料或制件能自动落下并及时离开模具。

1. 废料或制件回升的原因

废料或制件回升的原因主要与下列因素有关：

1）冲裁时，形状轮廓简单的冲裁比复杂形状的冲裁易回升，其中圆形、方形、三角形和侧刃冲下的废料最易回升。

2）薄料、软料比厚料易回升，因为料厚，冲下的废料或制件自身较重，不易回升。

3）同样质量的废料或制件，冲裁速度高的极易回升，这是由于真空吸附作用，使制件或废料吸附在凸模上。当冲速在150次/min时，废料或制件回升现象不常见；当冲速在200次/min以上时，会出现回升现象，当冲速在500次/min以上时，回升现象明显。

4）冲裁间隙大，废料或制件的外形尺寸会小于凹模尺寸，在凹模内的摩擦阻力减小，易使废料或制件回升。

5）没有润滑的材料在冲压后，由于废料或制件在凹模内阻力比有润滑时大，所以不易回升。如将润滑油涂在材料表面，冲压后易使废料或制件粘附在凸模端面而被带着回升。

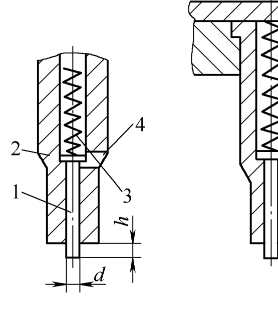
6）锋利的刃口，由于冲裁阻力小，冲下的废料或制件平整，很容易贴在凸模端面而被带着回升。

7）凸、凹模刃磨后没有即时去磁或凸模上磁性较大时，极易使废料或制件吸在凸模端面而被带着回升。

2. 防止废料或制件回升的方法

（1）利用凸模防止废料回升

1）如图4-72所示，在凸模内装小推杆，推杆直径按凸模外形大小和冲裁料厚不同而定，一般取 $d=\phi1\sim\phi3$mm，推杆伸出凸模长度 h 为材料厚度的3~5倍。在凸模靠近推杆凸台处适当位置钻一个工艺孔，重磨刃口时，用小棒插入将推杆缩进以便刃磨。



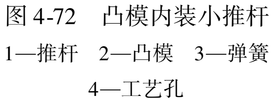


图4-72　凸模内装小推杆
1—推杆　2—凸模　3—弹簧　4—工艺孔

2）如图4-73所示，在凸模内加工通气孔，利用压缩空气把废料吹下。此结构主要用于凸模直径较小无法装推杆时采用，气孔直径 d 应尽量小，一般取 $\phi1$mm以下。

3）如图4-74所示，当凸模直径细小时采用此结构。其中图4-74a所示为凸模顶端做有一个小顶尖的情况，而图4-74b所示为凸模顶端做一个凹坑的情况，它比图4-74a所示情况刃磨方便。

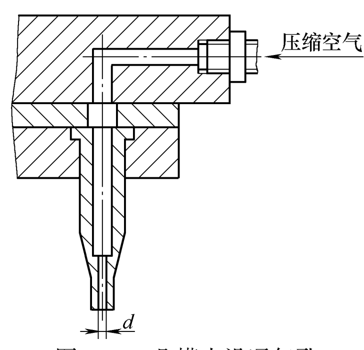


图 4-73　凸模内设通气孔

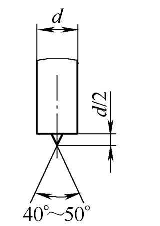
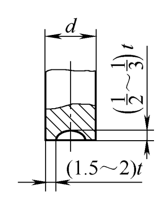
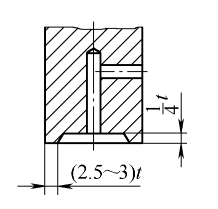



图 4-74　凸模端面是顶尖或凹坑

4）如图 4-75 所示，当凸模直径较大时，端面可制成凹坑并设有通气孔，如图 4-75a 所示。图 4-75b 为在大型凸模端面制成凹坑，坑内装弹簧片，利用弹簧片的作用力防止废料或制件上浮。

5）如图 4-76 所示，在大凸模端面偏离中心处装推杆，其参数同图 4-72。



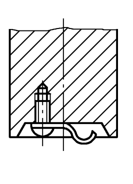
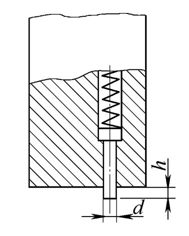
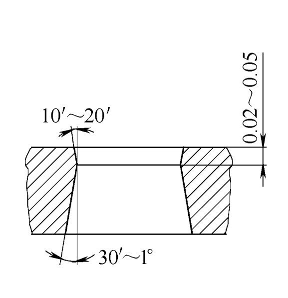



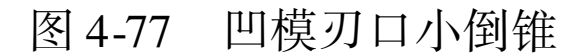
图 4-75　凸模端面做成凹坑并有通气孔或装簧片　　图 4-76　大凸模端面偏离中心处装推杆

（2）利用凹模防止废料回升　研磨凹模刃口成一很小的倒锥，一般取 10′～20′，如图 4-77 所示，冲裁时废料外围受到压缩应力，使其与凹模壁的摩擦力增加，废料不易回升。但这种方法的缺点是倒锥不易加工，而且做不好易使小凸模折断。

（3）利用负压防止废料或制件回升　在模具的落料孔下端接软管及盛料器，盛料器中有接压缩空气的进气口和出气口，如图 4-78 所示，当进气口的压缩空气进入盛料器时，使凹模落料孔产生负压，废料或制件在吸力作用下，通过软管被吸在盛料器中。

（4）利用凸、凹模之间合理小间隙冲裁防止废料或制件回升，生产实践证明，采用合理大间隙冲裁时，废料或制件容易随凸模回升，当采用合理小间隙冲裁时没有废料或制件回升现象，因此选用高耐磨模具材料，采用合理小间隙冲裁也是防止废料或制件回升的方法。





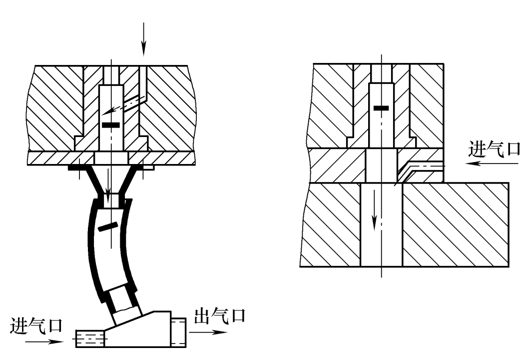


图 4-77　凹模刃口小倒锥　　图 4-78　利用压缩空气防止废料或制件回升

3. 防止废料或制件堵塞的方法

废料或制件应顺利地从凹模落料孔中落下，如果在凹模落料口积存废料或制件过多，一方面会使凸模损坏，另一方面废料或制件在凹模内的胀力会将凹模胀裂。废料或制件堵塞的原因主要

是由于凹模落料孔落料不畅引起。防止的方法应围绕凹模落料孔的设计与相关零件相配合关系上采取措施。

（1）合理设计落料孔　对于薄料直径小于 $\phi1.5$mm 的小孔冲裁，废料堵塞是经常发生的，因为废料质量轻，又同润滑油粘在一起，容易把凹模孔堵塞。因而应采用高耐磨模具钢制作凹模镶件，以减少刃磨次数，因而可尽量减小凹模刃口高度，凹模落料孔口形式可制成如图4-79所示，其中 D 比凹模落料孔直径大1～1.5mm，D_1 比 D 大1.5～2mm。且各孔中心要同轴，孔壁不能错位。

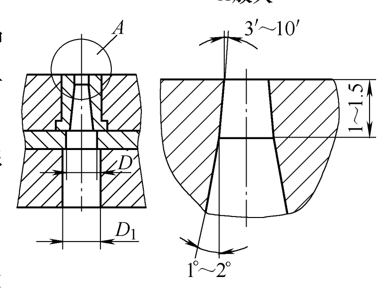


图4-79　凹模落料孔

在冲侧孔时，必须有足够的落料空间，废料靠自重自由落下，如果横向空间受到限制，必须把方向转换。图4-80所示为冲侧孔常用的几种落料方式，图4-80a所示是将废料或制件方向转换后用与凹模孔垂直方向的推杆把废料或制件推出落料孔，图4-80b所示为垂直方向和水平方向同时冲孔的混合落料孔设计，图4-80c所示是把转换后的落料孔制成锥度。

（2）气吹废料，图4-81所示为气吹废料防堵塞的方法，在凹模垫板的侧面设进气口，接上压缩空气嘴，打开气源开关，下模内即形成较强的气流通道，这时凹模型孔处于负压状态，迫使废料下落，不会被凸模带出凹模。

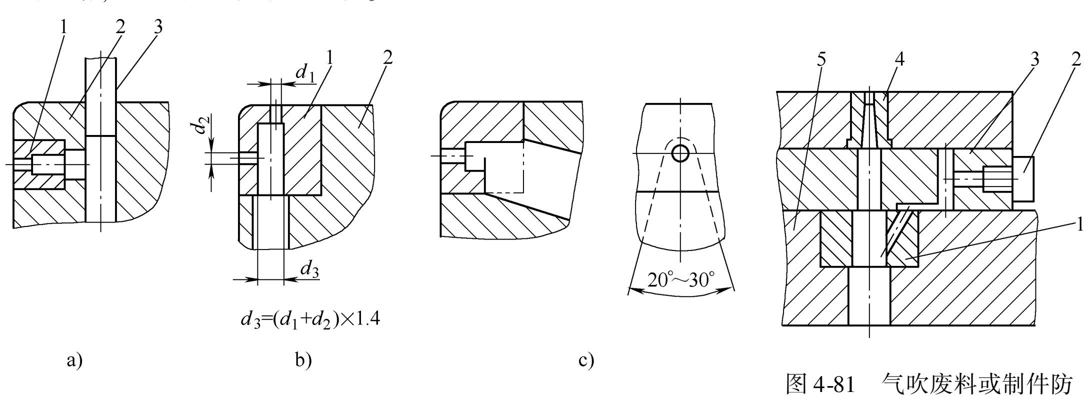


图4-80　冲侧孔常用的几种落料孔
1—凹模镶件　2—凹模板　3—推杆

图4-81　气吹废料或制件防堵塞的方法
1—通气垫块　2—气阀　3—垫板　4—凹模镶件　5—下模座

第六节　弯曲模工作零件的设计

一、弯曲模凸、凹模圆角半径

1. 凸模圆角半径

当弯曲件的相对弯曲半径 R/t 较小时，凸模圆角半径 R_p 等于弯曲件的弯曲半径 R；当 R/t 较大时，则应考虑弯曲件的回弹，凸模圆角半径应小于弯曲件的圆角半径，具体数值先按式（4-7）计算，再经试模修正后确定。

2. 凹模圆角半径

凹模圆角半径 R_d 过小时，会使毛坯沿凹模圆角半径滑进时的阻力增大，从而增大弯曲力，并容易擦伤弯曲件外表面，甚至出现压痕，而且也容易把凹模圆角和洞口拉毛，影响模具使用寿命。在弯曲U形弯曲件时，凹模两边圆角应一致，否则，弯曲时毛坯会产生偏移，影响弯曲件质量。

凹模圆角半径通常按材料厚度选取，见表4-14。一般不小于3mm。

对于V形件底部凹模圆角半径 R_d =（0.6~0.8）（R_p+t）或开让位槽。

表4-14　凹模圆角半径 R_d　（单位：mm）

材料厚度 t	凹模圆角半径 R_d
≤2	（3~6）t
2~4	（2~3）t
>4	$2t$

二、弯曲模凹模外形尺寸的确定

1. 凹模工作深度

凹模深度要适当，过小则弯曲件两端未受压部分太多，弯曲件回弹大且不平直，影响弯曲件的质量；若过大，不但浪费模具钢材，而且压力机工作行程会增大，有时会因工作行程太大使弯曲无法进行。

V形件弯曲模，如图4-82a所示，凹模深度 l_0 及底部最小厚度 h 值可查表4-15。

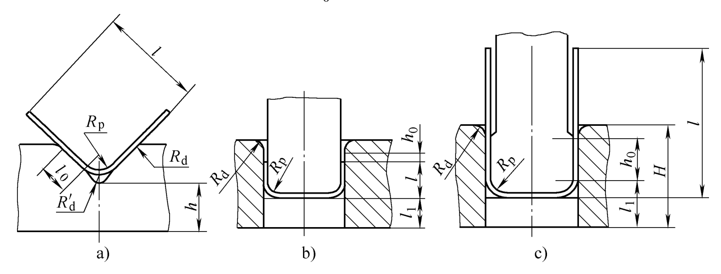


图4-82　弯曲模凹模尺寸的确定

U形件弯曲模，若弯曲件直边高度不大，且要求两边平直时，如图4-82b所示，则凹模深度应大于弯曲件高度，h_0 值可查表4-16。若弯曲件直边高度较大，仍采用凹模深度大于弯曲件高度的模具结构，不但浪费模具钢材，增加模具重量，更主要的是要用大行程的压力机。由于压力机行程的限制，有时因工作行程大使弯曲无法进行。为此可采用图4-82c所示的弯曲模结构，其 h_0 值可查表4-17。

表4-15　弯曲V形件凹模深度 l_0 和底部最小厚度 h　（单位：mm）

弯曲件边长 L	材料厚度 t					
	<2		2~4		4~6	
	h	l_0	h	l_0	h	l_0
>10~25	20	10~15	22	15	—	—
>25~50	22	15~20	27	25	32	30
>50~75	27	20~25	32	30	37	35
>75~100	32	25~30	37	35	42	40
>100~150	37	30~35	42	40	47	50

表4-16　弯曲直边高度不大的U形件的凹模 h_0 值　（单位：mm）

材料厚度	<2	>2~4	>5~10
h_0	3~5	5~8	8~14

表4-17　弯曲直边高度较大的U形件的凹模 h_0 值　（单位：mm）

弯曲件长度 L	材料厚度 t				
	<1	1~2	2~4	4~6	6~10
≤50	15	20	25	30	35
50~75	20	25	30	35	40
75~100	25	30	35	40	40
100~150	30	35	40	50	50
150~200	40	45	55	65	65

2. 凹模厚度

图 4-82b 所示的凹模厚度

$$H = R_d + h_0 + l + l_1 \tag{4-10}$$

式中 R_d——凹模圆角半径（mm）；

h_0——凹模深度（mm），见表 4-16；

l——弯曲件高度（mm）；

l_1——顶板在凹模中的厚度（mm）。

对于带台凸形顶板 l_1 取 4 ~ 8mm。对于平面形顶板 l_1 取 8 ~ 22mm。

图 4-82c 所示的凹模厚度

$$H = R_d + h_0 + R_p + t + l_1 \tag{4-11}$$

式中 R_d——凹模圆角半径（mm）；

h_0——凹模深度（mm），见表 4-17；

R_p——凸模圆角半径（mm）；

t——材料厚度（mm）；

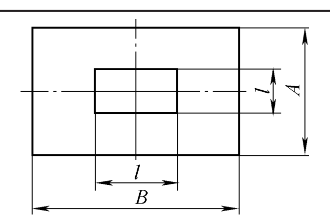
l_1——顶板在凹模中的厚度（mm）。

当凹模厚度太厚时，可采用凹模和中垫板两个零件。

3. U 形弯曲件凹模长度和宽度

U 形弯曲件凹模长度和宽度主要与被弯曲的材料厚度、种类及弯曲件大小有关，可按表 4-18 选取。

表 4-18　U 形弯曲件凹模宽度 *A* 与长度 *B*　（单位：mm）



凹模洞口尺寸 l	材料厚度 t		
	<2	2 ~ 4	4 ~ 6
<30	$l+50$	$l+60$	$l+70$
>30 ~ 50	$l+60$	$l+70$	$l+80$
>50 ~ 80	$l+65$	$l+75$	$l+85$
>80 ~ 120	$l+70$	$l+80$	$l+90$
>120 ~ 180	$l+75$	$l+85$	$l+100$

三、凸模与凹模之间的间隙

V 形件弯曲模的凸、凹模间隙是靠调整压力机的闭合高度来控制的，模具设计时可不考虑。对于 U 形件弯曲模，则应当选择合适的间隙。若间隙过小，不但会使弯曲件直边厚度变薄，而且增加了弯曲件和凹模洞口的摩擦，致使弯曲件表面拉伤，凹模圆角和洞口拉毛，不但影响弯曲件质量增加弯曲力，而且影响模具使用寿命。

若间隙过大，则弯曲件的回弹大，降低弯曲件的精度。凸、凹模的单边间隙一般可按式（4-12）计算

$$Z = t_{max} + ct \tag{4-12}$$

式中 Z——弯曲模凸、凹模单边间隙（mm）；

t——材料厚度（mm）；

c——间隙系数、查表 4-19。

表 4-19　U 形弯曲件弯曲凸、凹模的间隙系数 c

弯曲件高度 l/mm	弯曲件宽度 $B\leqslant 2l$				弯曲件宽度 $B>2l$			
	材料厚度 t/mm							
	<0.5	>0.5~2	>2~4	>4~6	<0.5	>0.5~2	>2~4	>4~6
10	0.05	0.05	0.04	—	0.10	0.10	0.08	—
20	0.05	0.05	0.04	0.03	0.10	0.10	0.08	0.06
35	0.07	0.05	0.04	0.03	0.15	0.10	0.08	0.06
50	0.10	0.07	0.05	0.04	0.20	0.15	0.10	0.06
75	0.10	0.07	0.05	0.05	0.20	0.15	0.10	0.10
100	—	0.07	0.05	0.05	—	0.15	0.10	0.10
150	—	0.10	0.07	0.05	—	0.20	0.15	0.10
200	—	0.10	0.07	0.07	—	0.20	0.15	0.15

四、U 形件弯曲模凸、凹模工作部分尺寸及公差

U 形件弯曲模凸、凹模工作部分尺寸计算的原则是：弯曲件标注外形尺寸时，应以凹模为基准，间隙取在凸模上。弯曲件标注内形尺寸时，应以凸模为基准，间隙取在凹模上，而凸、凹模的尺寸及公差，则应根据弯曲件的尺寸公差，回弹情况以及凸、凹模的磨损规律确定，具体计算可按表 4-20 进行计算。

表 4-20　U 形弯曲件凸模与凹模尺寸计算　（单位：mm）

序号	简图	凸模尺寸 L_p	凹模尺寸 L_d
1	$L\pm\Delta$	$L_p=(L-0.5\Delta-2Z)_{-\delta_p}^{0}$	$L_d=(L-0.5\Delta)_{0}^{+\delta_d}$
2	$L_{-\Delta}^{0}$	$L_p=(L-0.75\Delta-2Z)_{-\delta_p}^{0}$	$L_d=(L-0.75\Delta)_{0}^{+\delta_d}$
3	$L_{0}^{+\Delta}$	$L_p=(L+0.25\Delta)_{-\delta_p}^{0}$	$L_d=(L+0.25\Delta+2Z)_{0}^{+\delta_d}$
4	$L\pm\Delta$	$L_p=(L-0.25\Delta)_{-\delta_p}^{0}$	$L_d=(L-0.25\Delta+2Z)_{0}^{+\delta_d}$

δ_p、δ_d——凸、凹模制造公差，可采用 IT7～IT9 级公差，也可按下列经验数据选取：公称尺寸小于 50mm；取 0.02～0.05mm；公称尺寸为 50～120mm，取 0.04～0.08mm；公称尺寸为 120～180mm，取 0.05～0.1mm

五、钝角 U 形弯曲件凸、凹模尺寸差

如图 4-83 所示的弯曲件，凸模和凹模的底部尺寸是不同的，其单面差值为：

$$X = Kt \tag{4-13}$$

式中　X——凸模和凹模的单边尺寸差（mm）；

t——材料厚度（mm）；

K——尺寸差系数，查表 4-21。

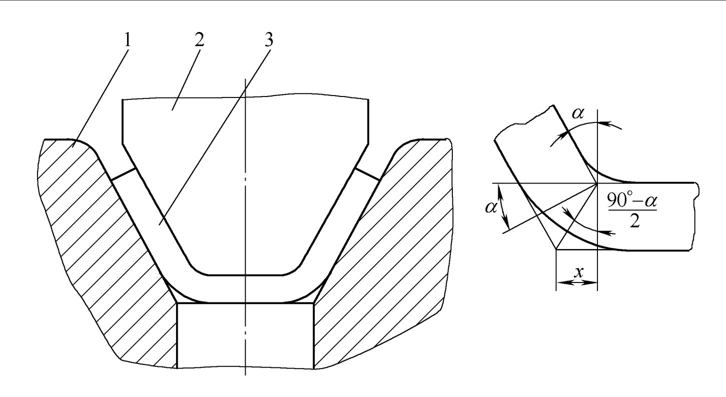


图 4-83　钝角 U 形弯曲件凸、凹模尺寸差

1—凹模　2—凸模　3—弯曲件

表 4-21　钝角 U 形弯曲件凸、凹模尺寸差系数 K

α	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K	0.983	0.966	0.949	0.933	0.916	0.900	0.885	0.869	0.854	0.839	0.824	0.810	0.795	0.784	0.767
α	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
K	0.754	0.740	0.727	0.713	0.700	0.687	0.675	0.662	0.649	0.637	0.625	0.613	0.601	0.589	0.577
α	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
K	0.566	0.554	0.543	0.532	0.521	0.510	0.499	0.488	0.477	0.466	0.456	0.445	0.438	0.425	0.414
α	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
K	0.404	0.394	0.384	0.374	0.364	0.354	0.344	0.335	0.325	0.315	0.306	0.296	0.287	0.277	0.268
α	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
K	0.259	0.249	0.240	0.231	0.222	0.213	0.204	0.194	0.185	0.176	0.168	0.158	0.149	0.141	0.132
α	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
K	0.123	0.114	0.105	0.096	0.087	0.079	0.070	0.061	0.052	0.044	0.035	0.026	0.018	0.009	—

第七节　弯曲成形相关力的计算

一、弯曲力的计算

生产中常采用表 4-22 中的经验公式来计算弯曲力。根据弯曲件断面面积 Bt 以及抗拉强度 R_m 可从图 4-84 和图 4-85 直接查出普通（自由）弯曲力。

表 4-22　弯曲力计算

序号	弯曲性质	计算公式
1	V 形件普通（自由）弯曲	$F=\dfrac{0.6KBt^2R_m}{R+t}$
2	V 形件校正弯曲	$F_{校}=Ap$
3	U 形件用顶板普通（自由）弯曲	$F=\dfrac{0.7KBt^2R_m}{R+t}+F_2$
4	U 形件用顶级校正弯曲	$F_{校}=Ap$

式中　F——弯曲时的总弯曲力（N）；
B——弯曲件宽度（mm）；
t——材料厚度（mm）；
R——弯曲件内圆角半径（mm）；
K——安全系数，可取 1.3；
F_2——顶件力，取普通弯曲的 30% ~80%；
p——单位校正力（MPa），见表 4-23；
A——校正部分的投影面积（mm^2）。

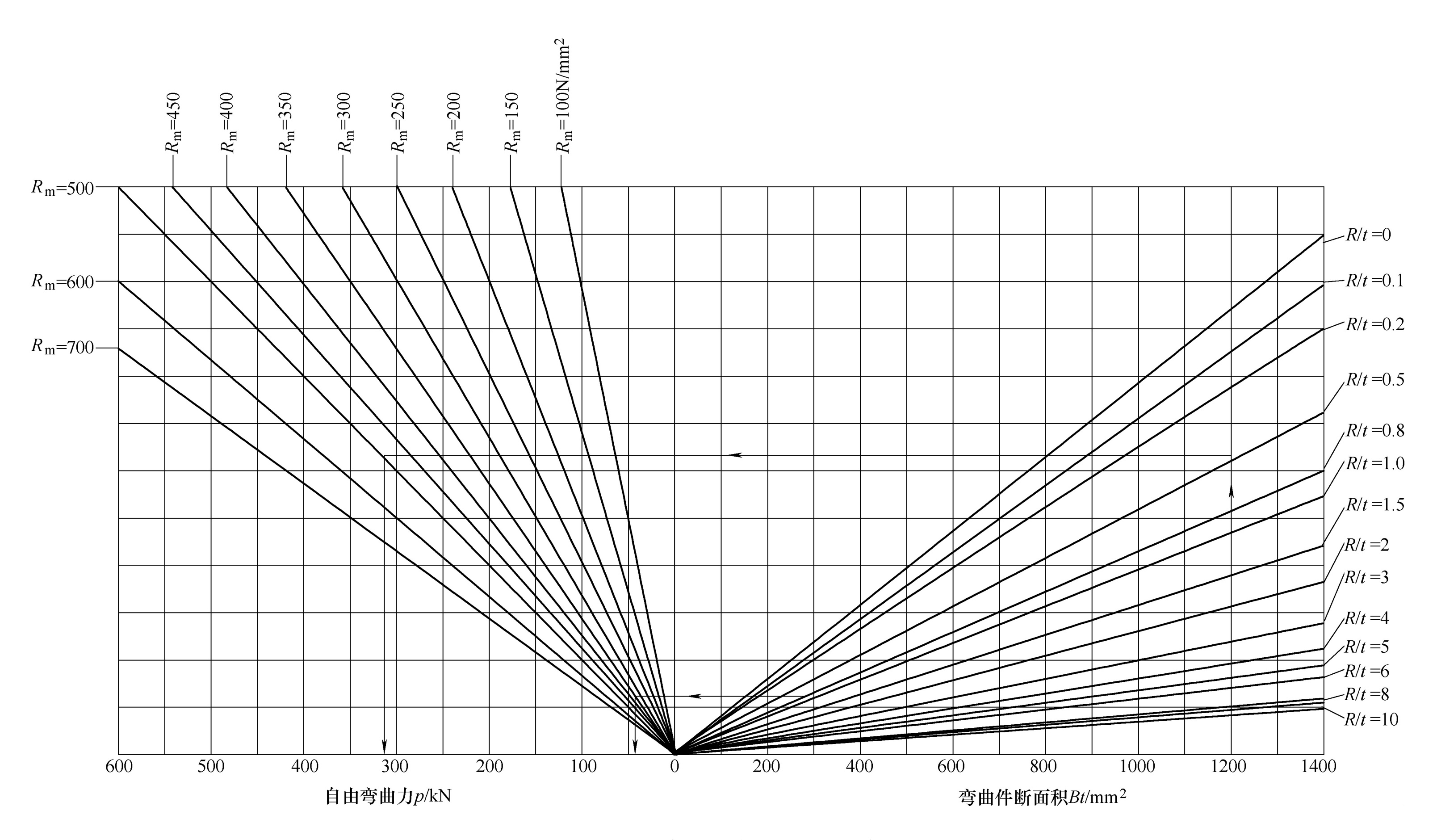


图 4-84　V 形弯曲件普通（自由）弯曲力图表

注：本图断面积 Bt 和弯曲力 p 可按相同比例使用。例如 $R/t=0.5$，$R_m=500\text{MPa}$，$Bt=120\text{mm}^2$ 的弯曲件，可按 $Bt=1200\text{mm}^2$ 放大 10 倍求 p，将读数（320kN）除以 10 得 $p=32\text{kN}$。

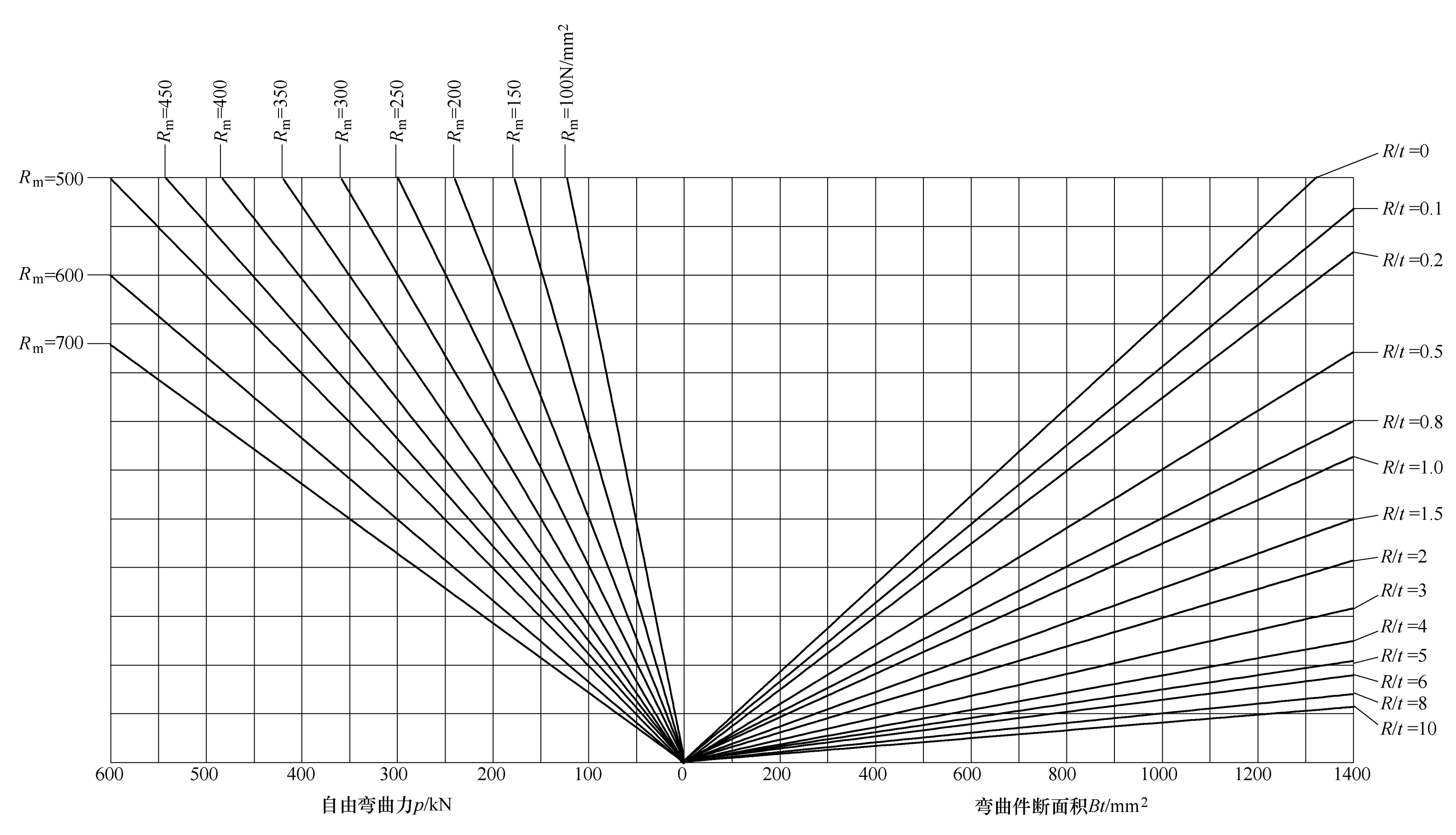


图 4-85　U 形弯曲件普通（自由）弯曲力图表

注：本图 Bt 和 p 也可按相同比例使用。

表 4-23　弯曲时所需的单位校正力　（单位：MPa）

材　料	材料厚度 t/mm			
	<1	>1～2	>2～5	>5～10
铝	10～15	15～20	20～30	30～40
黄铜	15～20	20～30	30～40	40～60
10、20	20～30	30～40	40～60	60～80
25、35	30～40	40～50	50～70	70～100

二、压力机公称压力的确定

压力机的公称压力应大于弯曲时的弯曲力，一般取

$$F_{压} = 1.2F \tag{4-14}$$

式中　$F_{压}$——压力机公称压力（kN）；

F——弯曲时的弯曲力（kN）。

第五章 拉 深

第一节 圆筒形件拉深毛坯直径的计算

一、修边余量的确定

在拉深过程中，常因材料性能的方向性和凸、凹模间隙不均、板厚变化、摩擦阻力不等及定位不准确等影响，而使拉深件口部或凸缘周边不齐，必须进行修边后才能使用，故在计算毛坯尺寸时应加上修边余量后的拉深件进行展开尺寸计算。修边余量可查表 5-1 和表 5-2。

表 5-1 无凸缘圆筒形件的修边余量 Δh （单位：mm）

拉深件高度 H	拉深件的相对高度 H/d				附图
	>0.5~0.8	>0.8~1.6	>1.6~2.5	>2.5~4.0	
≤10	1.0	1.2	1.5	2.0	
>10~20	1.2	1.6	2.0	2.5	
>20~50	2.0	2.5	3.3	4.0	
>50~100	3.0	3.8	5.0	6.0	
>100~150	4.0	5.0	6.5	8.0	
>150~200	5.0	6.3	8.0	10	
>200~250	6.0	7.5	9.0	11	
>250	7.0	8.5	10	12	

表 5-2 有凸缘圆筒形件的修边余量 ΔR （单位：mm）

凸缘直径 d_t	拉深件的相对高度 d_t/d				附图
	≤1.5	>1.5~2.0	>2.0~2.5	>2.5~3.0	
≤25	1.6	1.4	1.2	1.0	
>25~50	2.5	2.0	1.8	1.6	
>50~100	3.5	3.0	2.5	2.2	
>100~150	4.3	3.6	3.0	2.5	
>150~200	5.0	4.2	3.5	2.7	
>200~250	5.5	4.6	3.8	2.8	
>250	6.0	5.0	4.0	3.0	

二、毛坯直径的计算

1. 形状简单的筒形件毛坯直径的计算

1）在拉深过程中，拉深件与毛坯的重量、体积不变，面积基本不变，因而可以按拉深件表面积等于毛坯表面积计算，但必须加上修边余量。毛坯直径的计算公式如下

$$D=\sqrt{\frac{4}{\pi}A}\approx 1.13\sqrt{A} \quad (5\text{-}1)$$

式中 D——毛坯直径（mm）；

A——拉深件的表面积（mm^2）。

例 5-1 如图 5-1 所示的带凸缘拉深件（已加修边余量），首先将拉深件划分成若干简单几何形状，分别求出各部分的面积并相加，可求得拉深件毛坯直径 D。

$$\frac{\pi D^2}{4} = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 \tag{5-2}$$

$$a_1 = \frac{\pi}{4}(d_4^2 - d_3^2)$$

$$a_2 = \frac{\pi}{2}R(\pi d_3 - 4R)$$

$$a_3 = \pi d_2 h$$

$$a_4 = \frac{\pi}{2}r(\pi d_1 + 4r)$$

$$a_5 = \frac{\pi}{4}d_1^2$$

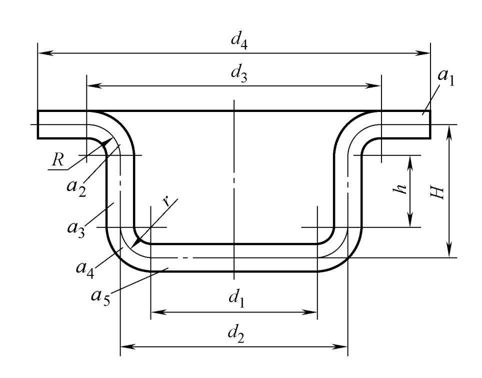


图 5-1　带凸缘拉深件毛坯尺寸的确定

将 a_1、a_2、a_3、a_4、a_5 代入式(5-2)得

$$D = \sqrt{d_1^2 + 6.28rd_1 + 8r^2 + 4d_2h + 6.28Rd_2 + 4.56R^2 + d_4^2 - d_3^2} \tag{5-3}$$

当 $R = r$ 时

$$D = \sqrt{d_1^2 + 4d_2h + 2\pi R(d_1 + d_2) + 4\pi R^2 + d_4^2 - d_3^2} \tag{5-4}$$

或

$$D = \sqrt{d_4^2 + 4d_2H - 3.44Rd_2}$$

同理可推出不带凸缘拉深件毛坯尺寸

$$\frac{\pi D^2}{4} = a_3 + a_4 + a_5 \tag{5-5}$$

将 a_3、a_4、a_5 代入式(5-5)得

$$D = \sqrt{d_1^2 + 4d_2h + 6.28rd_1 + 8r^2} \tag{5-6}$$

或

$$D = \sqrt{d_2^2 + 4d_2H - 1.72rd_2 - 0.56r^2} \tag{5-7}$$

在计算中，拉深件尺寸均按照材料厚度中线计算，但当材料厚度小于 1mm 时，也可按外形或内形尺寸计算。

2）当拉深不需要修边时，计算毛坯直径应考虑材料变薄的影响，其毛坯直径的计算公式如下

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi K}} \approx 1.13\sqrt{\frac{A}{K}} \tag{5-8}$$

式中　K——面积变化系数，在 1.0～1.1 范围内选取。

3）各种常用旋转体面积计算公式见表 5-3。

4）各种常用旋转体毛坯直径计算公式见表 5-4。

表 5-3　各种常用旋转体面积计算公式

序号	名称	简　　图	旋转体面积 A
1	圆形	d	$A = \frac{\pi}{4}d^2$
2	环形	d_1 d_2	$A = \frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2)$
3	圆筒形	h d	$A = \pi dh$

（续）

序号	名称	简　　图	旋转体面积 A
4	斜切筒形		$A=\frac{\pi d}{2}(h_1+h_2)$
5	圆锥形		$A=\frac{\pi d}{4}\sqrt{d^2+4h^2}=\frac{\pi dl}{2}$
6	截头锥形		$l=\sqrt{h^2+\left(\frac{d^2-d_1^2}{2}\right)^2}$ $A=\frac{\pi l}{2}(d_1+d_2)$
7	半球面		$A=2\pi r^2$
8	半球形底杯		$A=2\pi rh$
9	球面体		$A=\frac{\pi}{4}(S^2+4h^2)$ $A=2\pi rh$
10	凸形球杯		$A=2\pi rh$
11	带凸缘球面体		$A=\pi\left(\frac{d^2}{4}+h^2\right)$
12	1/4 的凸形球环		$A=\frac{\pi r}{2}(\pi d+4r)$

（续）

序号	名称	简　　图	旋转体面积 A
13	1/4 的凹形球环		$A=\frac{\pi r}{2}(\pi d-4r)$
14	凸形球环		$A=\pi(dl+2rh)$ $h=r(1-\cos\alpha)$ $l=\frac{\pi r\alpha}{180°}$
15	凸形球环		$A=\pi(dl+2rh)$ $h=r\sin\alpha$ $l=\frac{\pi\alpha r}{180°}$
16	凸形球环		$A=\pi(dl+2rh)$ 式中 $h=r[\cos\beta-\cos(\alpha+\beta)]$ $l=\frac{\pi\alpha r}{180°}$
17	凹形球环		$A=\pi(dl-2rh)$ 式中 $h=r(1-\cos\alpha)$ $l=\frac{\pi\alpha r}{180°}$
18	凹形球环		$A=\pi(dl-2rh)$ 式中 $h=r\sin\alpha$ $l=\frac{\pi\alpha r}{180°}$
19	凹形球环		$A=\pi(dl-2rh)$ 式中 $h=r[\cos\beta-\cos(\alpha+\beta)]$ $l=\frac{\pi\alpha r}{180°}$
20	截头锥体		$A=2\pi r\left(h-d\frac{\pi\alpha}{360°}\right)$
21	半圆截面环		$A=\pi^2dr$

（续）

序号	名称	简　图	旋转体面积 A
22	旋转抛物面		$A=\frac{2\pi}{3p}\sqrt{(R^2+p^2)^3}-p^3$ 式中　$p=\frac{R^2}{2h}$
23	截头旋转抛面		$A=\frac{2\pi}{3p}[\sqrt{(p^2+R^2)^3}-\sqrt{(p^2+r^2)^3}]$ 式中 $p=\frac{R_2-r^2}{2h}$
24	带边杯体		$A=\pi^2rd+\frac{\pi}{4}(d-2r)^2$
25	凸形筒		$A=\pi^2rd$
26	鼓形筒		$A=2\pi Gl=\pi^2Gr$ 式中 $G=\frac{d}{2}+0.9r$ $l=\frac{\pi r}{2}$
27			$A=2\pi Gl=2\pi^2Gr$ 式中 $G=\frac{d}{2}+0.637r$ $l=\pi r$
28	凹形筒		$A=2\pi Gl=2\pi^2Gr$ 式中 $G=\frac{d}{2}-0.637r$ $l=\pi r$

表 5-4　各种常用旋转体毛坯直径计算公式

序号	简　　图	旋转体毛坯直径 D
1	d, H	$D=\sqrt{d^2+4dH}$
2	d_2, H, d_1	$D=\sqrt{d_2^2+4d_1H}$
3	d_2, h_2, h_1, d_1	$D=\sqrt{d_2^2+4(d_1h_1+d_2h_2)}$
4	d_3, d_2, h_2, h_1, d_1	$D=\sqrt{d_3^2+4(d_1h_1+d_2h_2)}$
5	d_2, l, h, d_1	$D=\sqrt{d_1^2+4d_1h+2l(d_1+d_2)}$
6	d_3, d_2, l, h_2, h_1, d_1	$D=\sqrt{d_2^2+4(d_1h_1+d_2h_2)+2l(d_2+d_3)}$
7	d_2, l, d_1	$D=\sqrt{d_1^2+2l(d_1+d_2)}$

（续）

序号	简　　图	旋转体毛坯直径 D
8		$D=\sqrt{d_1^2+2l(d_1+d_2)+4d_2h}$
9		$D=\sqrt{d_1^2+2l(d_1+d_2)+d_3^2-d_2^2}$
10		$D=\sqrt{2dl}$
11		$D=\sqrt{2d(l+2h)}$
12		$D=\sqrt{d_1^2+2r(\pi d_1+4r)}$
13		$D=\sqrt{d_1^2+6.28rd_1+8r^2+d_3^2-d_2^2}$
14		$D=\sqrt{d_1^2+2\pi rd_1+8r^2+2l(d_2+d_3)}$
15		$D=\sqrt{d_1^2+4d_2h+6.28rd_1+8r^2}$ 或 $D=\sqrt{d_2^2+4d_2H-1.72rd_2-0.56r^2}$

（续）

序号	简　　图	旋转体毛坯直径 D
16		$D=\sqrt{d_1^2+2\pi r d_1+8r^2+4d_2h+d_3^2-d_2^2}$
17		$D=\sqrt{d_1^2+2\pi r(d_1+d_2)+4\pi r^2}$
18		$D=\sqrt{d_1^2+2\pi r d_1+8r^2+4d_2h+2l(d_3+d_2)}$
19		当 $R=r$ 时 $D=\sqrt{d_1^2+4d_2h+2\pi r(d_1+d_2)+4\pi r^2}$ 当 $R\neq r$ 时 $D=\sqrt{d_1^2+6.28rd_1+8r^2+4d_2h+6.28Rd_2+4.56R^2}$
20		当 $R=r$ 时 $D=\sqrt{d_1^2+4d_2h+2\pi r(d_1+d_2)+4\pi r^2+d_4^2-d_3^2}$ 或 $D=\sqrt{d_4^2+4d_2H-3.44rd_2}$ 当 $R\neq r$ 时 $D=\sqrt{d_1^2+6.28rd_1+8r^2+4d_2h+6.28Rd_2+4.56R^2+d_4^2-d_3^2}$
21		$D=\sqrt{8Rh}$ 或 $D=\sqrt{S^2+4h^2}$
22		$D=\sqrt{2d^2}=1.414d$

（续）

序号	简　　图	旋转体毛坯直径 D
23		$D=\sqrt{d_2^2+4h^2}$
24		$D=\sqrt{d_1^2+d_2^2}$
25		$D=\sqrt{d_1^2+4h^2+2l(d_1+d_2)}$
26		$D=\sqrt{d_1^2+4\left[h_1^2+d_1h_2+\frac{l}{2}(d_1+d_2)\right]}$
27		$D=1.414\sqrt{d_1^2+l(d_1+d_2)}$
28		$D=1.414\sqrt{d_1^2+2d_1h+l(d_1+d_2)}$
29		$D=\sqrt{d^2+4(h_1^2+dh_2)}$

（续）

序号	简　　图	旋转体毛坯直径 D
30		$D=\sqrt{d_2^2+4(h_1^2+d_1h_2)}$
31		$D=1.414\ \sqrt{d^2+2dh}$ 或 $D=2\ \sqrt{dH}$
32		$D=\sqrt{8r^2+4dH-4dr-1.72dR+0.56R^2+d_4^2-d^2}$
33		$D=\sqrt{8r_1\left[h_3-b\left(\arcsin\dfrac{h_3}{r_1}\right)\right]+4dh_2+8rh_1}$
34		$D=\sqrt{d_2^2-d_1^2+4d_1\left(h+\dfrac{l}{2}\right)}$
35		$D=\sqrt{d_1^2+4d_1h_1+4d_2h_2}$

2. 形状复杂的旋转体拉深件毛坯直径的计算

形状复杂的旋转体拉深件毛坯直径的计算可利用久里金法则，即任意形状的素线 AB 绕轴线 YY 旋转，所得到的旋转体面积等于素线长度 L 与其形心绕轴线旋转所得的周长 $2\pi R_x$ 的乘积（R_x 是该段素线形心至轴线的距离），如图 5-2 所示。即旋转体面积 $A_0=2\pi LR_x$。

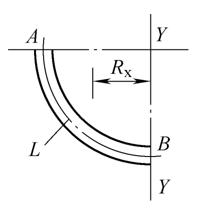


图 5-2　旋转体素线

毛坯面积 $A=\dfrac{\pi D^2}{4}$

故毛坯直径

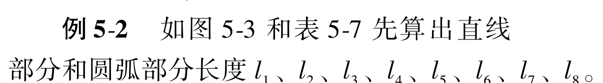
$$D=\sqrt{8LR_x}=\sqrt{8\left(l_1R_{x1}+l_2R_{x2}+\cdots+l_nR_{xn}\right)}=\sqrt{8\sum LR_x}\qquad(5\text{-}9)$$

求毛坯直径的方法常用的有两种：

（1）解析法求旋转体毛坯直径（图 5-3）

1）沿材料厚度中线把拉深件轮廓线（包括修边余量）分成若干段直线或圆弧，并算出各直线或圆弧长度（圆弧长度可按表 5-5 和表 5-6 查得）l_1、l_2、…、l_n。

2）找出每一线段的形心，并算出每一形心到旋转轴的距离（可按表 5-7 和表 5-8 查得）R_{x1}、R_{x2}、…、R_{xn}。



3）按式（5-9）求毛坯直径 D 或查表 5-9 求得毛坯 D。

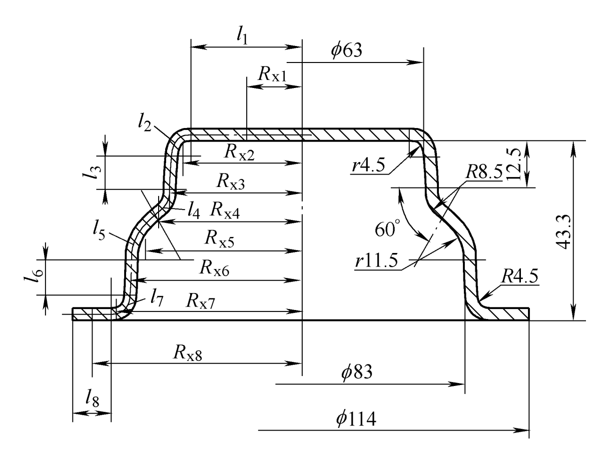


图 5-3　解析法计算毛坯直径

例 5-2　如图 5-3 和表 5-7 先算出直线部分和圆弧部分长度 l_1、l_2、l_3、l_4、l_5、l_6、l_7、l_8。

$$l_1=\frac{(63-9)\ \text{mm}}{2}=27\text{mm}$$

$$l_2=7.85\text{mm}$$

$$l_3=12.5\text{mm}-4.5\text{mm}=8\text{mm}$$

$$l_4=8\text{mm}\times1.047=8.376\text{mm}$$

$$l_5=12\text{mm}\times1.047=12.564\text{mm}$$

$$l_6=43.3\text{mm}-12.5\text{mm}-8\text{mm}\times\sin60°-12\text{mm}\times\sin60°-5.5\text{mm}=8\text{mm}$$

$$l_7=7.85\text{mm}$$

$$l_8=\frac{(114-83-2-9)\ \text{mm}}{2}=10\text{mm}$$

根据表 5-7 和表 5-8 算出各直线和圆弧形心的旋转半径

$$R_{x1}=27\text{mm}/2=13.5\text{mm}$$

$$R_{x2}=27\text{mm}+3.18\text{mm}=30.18\text{mm}$$

$$R_{x3}=\frac{(63+1)\ \text{mm}}{2}=32\text{mm}$$

$$R_{x4}=32\text{mm}+8\text{mm}-8\text{mm}\times0.827=33.384\text{mm}$$

$$R_{x5}=\frac{(83-23)\ \text{mm}}{2}+12\text{mm}\times0.827=39.924\text{mm}$$

$$R_{x6}=\frac{(83+1)\ \text{mm}}{2}=42\text{mm}$$

$$R_{x7} = 42\text{mm} + 5\text{mm} - 3.18\text{mm} = 43.82\text{mm}$$

$$R_{x8} = \frac{(83+2+9)\ \text{mm}}{2} + \frac{10\text{mm}}{2} = 52\text{mm}$$

将计算结果代入式（5-9）或查表5-9，即可求出毛坯直径 D

$$D = \sqrt{8\sum LR_x} = \sqrt{8 \times 2838.596}\text{mm} = 150.7\text{mm}$$

表5-5　中心角 $\alpha = 90°$ 时的弧长 L　　（单位：mm）

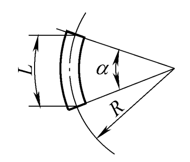
$L = \frac{\pi}{2}R$

例：$R = 41.25$
查弧长 L

R	L
41	64.4
0.2	0.31
0.05	0.08
41.25	64.79

R	L	R	L	R	L	R	L
—	—	10	15.71	40	62.83	70	109.96
0.01	0.02	11	17.28	41	64.40	71	111.53
0.02	0.03	12	18.85	42	65.97	72	113.10
0.03	0.05	13	20.42	43	67.54	73	114.67
0.04	0.06	14	21.99	44	69.12	74	116.24
0.05	0.08	15	23.56	45	70.69	75	117.81
0.06	0.09	16	25.13	46	72.26	76	119.38
0.07	0.11	17	26.7	47	73.83	77	120.95
0.08	0.12	18	28.27	48	75.40	78	122.52
0.09	0.14	19	29.85	49	76.97	79	124.09
—	—	20	31.42	50	78.54	80	125.66
0.1	0.16	21	32.99	51	80.11	81	127.23
0.2	0.31	22	34.56	52	81.68	82	128.81
0.3	0.47	23	36.13	53	83.25	83	130.38
0.4	0.63	24	37.7	54	84.82	84	131.95
0.5	0.79	25	39.27	55	86.39	85	133.52
0.6	0.94	26	40.84	56	87.96	86	135.69
0.7	1.10	27	42.41	57	89.54	87	136.66
0.8	1.26	28	43.98	58	91.11	88	138.23
0.9	1.41	29	45.55	59	92.68	89	139.80
—	—	30	47.12	60	94.25	90	141.37
1	1.57	31	48.69	61	95.82	91	142.94
2	3.14	32	50.27	62	97.39	92	144.51
3	4.71	33	51.84	63	98.96	93	146.08
4	6.28	34	53.41	64	100.53	94	147.66
5	7.85	35	54.98	65	102.10	95	149.23
6	9.42	36	56.55	66	103.67	96	150.80
7	11.00	37	58.12	67	105.24	97	152.37
8	12.57	38	59.69	68	106.81	98	153.94
9	14.14	39	61.26	69	108.39	99	155.51

表 5-6　中心角 $\alpha<90°$ 时的弧长 L_1（$R=1$）　　（单位：mm）



$L=\pi R\dfrac{\alpha}{180°}=L_1 R$

例：$\alpha=25°30'$，$R=22.5$，求弧长 L

$L=(0.436+0.009)\times 22.5=10.01$

α/（°）						α/（′）			
α	L	α	L	α	L	α	L	α	L
—	—	30	0.524	60	1.047	—	—	30	0.009
1	0.017	31	0.541	61	1.064	1	—	31	0.009
2	0.035	32	0.558	62	1.082	2	—	32	0.009
3	0.052	33	0.576	63	1.099	3	0.001	33	0.010
4	0.070	34	0.593	64	1.117	4	0.001	34	0.010
5	0.087	35	0.611	65	1.134	5	0.001	35	0.010
6	0.105	36	0.628	66	1.152	6	0.002	36	0.011
7	0.122	37	0.646	67	1.169	7	0.002	37	0.011
8	0.140	38	0.663	68	1.187	8	0.002	38	0.011
9	0.157	39	0.681	69	1.204	9	0.002	39	0.011
10	0.175	40	0.698	70	1.222	10	0.003	40	0.012
11	0.192	41	0.715	71	1.239	11	0.003	41	0.012
12	0.209	42	0.733	72	1.256	12	0.003	42	0.012
13	0.227	43	0.750	73	1.274	13	0.004	43	0.013
14	0.244	44	0.768	74	1.291	14	0.004	44	0.013
15	0.262	45	0.785	75	1.309	15	0.004	45	0.013
16	0.279	46	0.803	76	1.326	16	0.005	46	0.014
17	0.297	47	0.820	77	1.344	17	0.005	47	0.014
18	0.314	48	0.838	78	1.361	18	0.005	48	0.014
19	0.332	49	0.855	79	1.379	19	0.005	49	0.014
20	0.349	50	0.873	80	1.396	20	0.006	50	0.015
21	0.366	51	0.890	81	1.413	21	0.006	51	0.015
22	0.384	52	0.907	82	1.431	22	0.006	52	0.015
23	0.401	53	0.925	83	1.448	23	0.007	53	0.016
24	0.419	54	0.941	84	1.466	24	0.007	54	0.016
25	0.436	55	0.960	85	1.483	25	0.007	55	0.016
26	0.454	56	0.977	86	1.501	26	0.008	56	0.017
27	0.471	57	0.955	87	1.518	27	0.008	57	0.017
28	0.489	58	1.012	88	1.536	28	0.008	58	0.017
29	0.506	59	1.032	89	1.553	29	0.008	59	0.017

表 5-7　中心角 $\alpha = 90°$ 时弧的形心到 Y-Y 轴的距离 R_x　　（单位：mm）

R_x　Y　$\alpha=90°$　R　Y

$$R_x = \frac{2}{\pi}R$$

例：$R = 52.37$

求 R_x

R	R_x
52	33.12
0.3	0.19
0.07	0.05
52.37	33.36

R	R_x	R	R_x	R	R_x	R	R_x
—	—	10	6.37	40	25.48	70	44.58
0.01	0.01	11	7.01	41	26.11	71	45.22
0.02	0.01	12	7.64	42	26.75	72	45.86
0.03	0.02	13	8.28	43	27.39	73	46.49
0.04	0.03	14	8.92	44	28.02	74	47.13
0.05	0.03	15	9.55	45	28.66	75	47.77
0.06	0.04	16	10.19	46	29.30	76	48.41
0.07	0.05	17	10.83	47	29.93	77	49.05
0.08	0.05	18	11.46	48	30.57	78	49.69
0.09	0.06	19	12.10	49	31.21	79	50.32
—	—	20	12.74	50	31.84	80	50.95
0.1	0.06	21	13.37	51	32.48	81	51.59
0.2	0.13	22	14.01	52	33.12	82	52.23
0.3	0.19	23	14.65	53	33.76	83	52.86
0.4	0.25	24	15.29	54	34.39	84	53.50
0.5	0.32	25	15.92	55	35.03	85	54.13
0.6	0.38	26	16.56	56	35.67	86	54.77
0.7	0.45	27	17.20	57	36.30	87	55.41
0.8	0.51	28	17.83	58	36.94	88	56.05
0.9	0.57	29	18.47	59	37.58	89	56.68
—	—	30	19.11	60	38.21	90	57.33
1	0.64	31	19.74	61	38.85	91	57.96
2	1.27	32	20.38	62	39.49	92	58.59
3	1.91	33	21.02	63	40.12	93	59.23
4	2.55	34	21.65	64	40.76	94	59.87
5	3.18	35	22.29	65	41.40	95	60.51
6	3.82	36	22.93	66	42.04	96	61.15
7	4.46	37	23.57	67	42.67	97	61.79
8	5.10	38	24.20	68	43.31	98	62.43
9	5.73	39	24.84	69	43.95	99	63.06

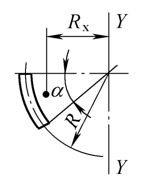
表 5-8　中心角 $\alpha<90°$ 时弧的形心到 Y-Y 轴的距离 R_x　（单位：mm）

$R_x = R\dfrac{180\sin\alpha}{\pi\alpha} = RR_{x0}$

式中 R_{x0} 为 $R=1$ 时的 R_x 值

例：$R=20$，$\alpha=25°$时 $R_x = RR_{x0}$

$=20\times0.969=19.38$



R = 1 时形心到 Y-Y 轴的距离 R_{x0}

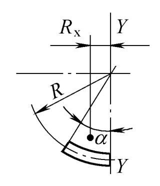
α/（°）	R_{x0}	α/（°）	R_{x0}	α/（°）	R_{x0}
—	—	30	0.955	60	0.827
1	1.000	31	0.952	61	0.822
2	1.000	32	0.948	62	0.816
3	1.000	33	0.946	63	0.810
4	0.999	34	0.942	64	0.805
5	0.999	35	0.939	65	0.799
6	0.998	36	0.936	66	0.793
7	0.998	37	0.932	67	0.787
8	0.997	38	0.929	68	0.781
9	0.996	39	0.925	69	0.775
10	0.996	40	0.921	70	0.769
11	0.994	41	0.917	71	0.763
12	0.993	42	0.913	72	0.757
13	0.992	43	0.909	73	0.750
14	0.990	44	0.905	74	0.744
15	0.989	45	0.901	75	0.738
16	0.987	46	0.896	76	0.731
17	0.985	47	0.891	77	0.725
18	0.984	48	0.887	78	0.719
19	0.982	49	0.883	79	0.712
20	0.980	50	0.879	80	0.705
21	0.978	51	0.873	81	0.699
22	0.976	52	0.868	82	0.692
23	0.974	53	0.864	83	0.685
24	0.972	54	0.858	84	0.678
25	0.969	55	0.853	85	0.671
26	0.966	56	0.848	86	0.665
27	0.963	57	0.843	87	0.658
28	0.960	58	0.838	88	0.651
29	0.958	59	0.832	89	0.644

$R_x = R\dfrac{180°\ (1-\cos\alpha)}{\pi\alpha} = RR_{x0}$

式中 R_{x0} 为 $R=1$ 时的 R_x 值

例：$R=25$，$\alpha=38°$时求 R_x

$R_x = RR_{x0} = 25\times0.320=8$



R = 1 时形心到 Y-Y 轴的距离 R_{x0}

α/（°）	R_{x0}	α/（°）	R_{x0}	α/（°）	R_{x0}
—	—	30	0.256	60	0.478
1	0.009	31	0.264	61	0.484
2	0.017	32	0.272	62	0.490
3	0.026	33	0.280	63	0.497
4	0.035	34	0.288	64	0.503
5	0.043	35	0.296	65	0.509
6	0.052	36	0.304	66	0.515
7	0.061	37	0.312	67	0.521
8	0.070	38	0.320	68	0.527
9	0.073	39	0.327	69	0.533
10	0.087	40	0.335	70	0.538
11	0.095	41	0.343	71	0.544
12	0.104	42	0.350	72	0.550
13	0.113	43	0.358	73	0.555
14	0.122	44	0.366	74	0.561
15	0.130	45	0.373	75	0.566
16	0.139	46	0.380	76	0.572
17	0.147	47	0.388	77	0.577
18	0.156	48	0.395	78	0.582
19	0.164	49	0.402	79	0.587
20	0.173	50	0.409	80	0.592
21	0.181	51	0.416	81	0.597
22	0.190	52	0.423	82	0.602
23	0.198	53	0.430	83	0.606
24	0.206	54	0.437	84	0.611
25	0.215	55	0.444	85	0.615
26	0.223	56	0.451	86	0.620
27	0.231	57	0.458	87	0.624
28	0.240	58	0.464	88	0.628
29	0.248	59	0.471	89	0.633

表 5-9　根据 LR_x 查毛坯直径 D

（$D=\sqrt{8LR_x}$）　　　　（单位：mm）

D	LR_x	D	LR_x	D	LR_x	D	LR_x
20	50	54	364. 5	88	968	122	1860
21	55	55	378	89	990	123	1891
22	60. 5	56	392	90	1012. 5	124	1922
23	66	57	406	91	1035	125	1953
24	72	58	420. 5	92	1058	126	1984
25	78	59	435	93	1081	127	2016
26	84. 5	60	450	94	1104. 5	128	2048
27	91	61	465	95	1128	129	2080
28	98	62	480. 5	96	1152	130	2112
29	105	63	496	97	1176	131	2145
30	112. 5	64	512	98	1200	132	2178
31	120	65	528	99	1225	133	2211
32	128	66	544	100	1250	134	2244
33	136	67	561	101	1275	135	2278
34	144. 5	68	578	102	1300	136	2312
35	154	69	595	103	1326	137	2346
36	162	70	612. 5	104	1352	138	2380
37	171	71	630	105	1378	139	2415
38	180. 5	72	648	106	1404	140	2450
39	190	73	666	107	1431	141	2485
40	200	74	684. 5	108	1458	142	2520
41	210	75	703	109	1485	143	2556
42	220. 5	76	722	110	1512	144	2592
43	231	77	741	111	1540	145	2628
44	242	78	760. 5	112	1568	146	2664
45	253	79	780	113	1596	147	2701
46	264. 5	80	800	114	1624	148	2738
47	276	81	820	115	1653	149	2775
48	285. 5	82	840. 5	116	1682	150	2812
49	300	83	861	117	1711	151	2850
50	312. 5	84	882	118	1740	152	2888
51	325	85	903	119	1770	153	2926
52	338	86	924. 5	120	1800	154	2964
53	351	87	946	121	1830	155	3003

（续）

D	LR_x	D	LR_x	D	LR_x	D	LR_x
156	3040	192	4608	228	6485	264	8712
157	3081	193	4656	229	6555	265	8778
158	3120	194	4704	230	6612	266	8844
159	3161	195	4753	231	6670	267	8911
160	3200	196	4802	232	6715	268	8978
161	3240	197	4851	233	6786	269	9045
162	3280	198	4900	234	6844	270	9112
163	3321	199	4950	235	6903	271	9180
164	3362	200	5000	236	6962	272	9248
165	3403	201	5050	237	7021	273	9316
166	3444	202	5100	238	7080	274	9384
167	3486	203	5151	239	7140	275	9453
168	3528	204	5202	240	7200	276	8522
169	3570	205	5253	241	7260	277	9591
170	3612	206	5304	242	7320	278	9660
171	3655	207	5356	243	7381	279	9730
172	3698	208	5408	244	7442	280	9800
173	3741	209	5460	245	7503	281	9870
174	3784	210	5512	246	7564	282	9910
175	3828	211	5565	247	7626	283	10011
176	3872	212	5618	248	7688	284	10082
177	3916	213	5671	249	7750	285	10153
178	3960	214	5724	250	7812	286	10224
179	4005	215	5778	251	7875	287	10296
180	4050	216	5832	252	7938	288	10368
181	4095	217	5886	253	8001	289	10440
182	4140	218	5940	254	8064	290	10512
183	4186	219	5995	255	8128	291	10585
184	4232	220	6050	256	8192	292	10658
185	4278	221	6105	257	8256	293	10731
186	4324	222	6166	258	8320	294	10804
187	4371	223	6216	259	8385	295	10878
188	4418	224	6272	260	8450	296	10952
189	4465	225	6328	261	8515	297	11026
190	4512	226	6384	262	8580	298	11100
191	4560	227	6441	263	8646	299	11175

（续）

D	LR_x	D	LR_x	D	LR_x	D	LR_x
300	11250	355	15753	410	21012	465	27028
305	11628	360	16200	415	21528	470	27612
310	12012	365	16653	420	22050	475	28203
315	12403	370	17112	425	22578	480	28800
320	12800	375	17578	430	23112	485	29403
325	13203	380	18050	435	23653	490	30012
330	13612	385	18528	440	24200	495	30628
335	14028	390	19012	445	24753	500	31250
340	14450	395	19503	450	25312	510	32512
345	14878	400	20000	455	25878	520	33800
350	15312	405	20503	460	26450	530	35112

（2）作图法确定毛坯直径（图5-4）。

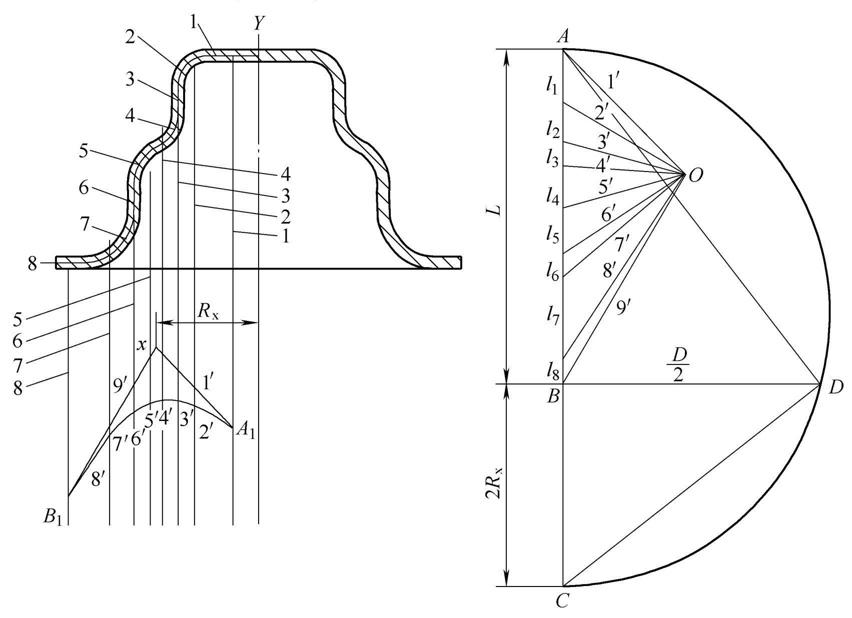


图5-4　作图法确定毛坯直径

1）把旋转体母线分成若干简单的几何线段（直线和圆弧），计算它们的长度 l_1、l_2、l_3、…、l_n 及其形心位置。

2）由各线段的形心引出与旋转体轴线 Y-Y 的平等线1、2、3、…、n。

3）在图形外任选一点 A 作一射线与 Y-Y 轴平行，在其上按顺序量取长度 l_1、l_2、l_3、…、l_n。总长 AB 即母线长度 L。

4）在射线外任选一点 O，向 l_1、l_2、l_3、…、l_n 各线段端点引出射线1′、2′、3′、…、n'、$n'+1$。

5）自线1上任一点 A_1，作平行于射线1′和2′的两直线，直线2′与线2相交于一点，又自此交点作平等于射线3′的直线，并与线3相交于一点，以此类推，最后平行于射线 n' 的直线与线 n 相交于 B_1 点。

6）过 B_1 点作平等于线 $n'+1$ 的直线并与过 A_1 点所作的平行于1′的直线相交于 x 点，此点与

旋转轴 Y-Y 轴的距离即为母线形心旋转半径 R_x。

7）在 AB 的延长线上量取长度等于 $2R_x$ 的线段 BC，再以 AC 为直径作半圆，然后自 B 点作 AC 的垂线与半圆相交于 D 点，则线段 BD 即为毛坯的半径 D/2。

$$\frac{D}{2}:L=2R_x:\frac{D}{2}$$

$$D=\sqrt{8LR_x}$$

计算结果与式（5-9）完全一致。

第二节　圆筒形件的拉深系数和拉深次数的确定

一、拉深系数

在进行拉深工艺计算时，首先要选择适当的拉深系数 m，拉深系数是以拉深后的直径与拉深前的毛坯（工序件）直径之比表示。如图 5-5 所示，即第一次拉深系数 $m_1=d_1/D$、第二次拉深系数 $m_2=d_2/d_1$，第 n 次拉深系数 $m_n=d_n/d_{n-1}$。m 越小，拉深变形程度越大；m 越大，拉深变形程度越小。在各次拉深中，既要充分利用材料的最大变形程度，尽量采用较小的拉深系数，又要防止拉深系数过小，拉深时的应力超过材料许可的抗拉强度而使拉深件起皱和拉裂。

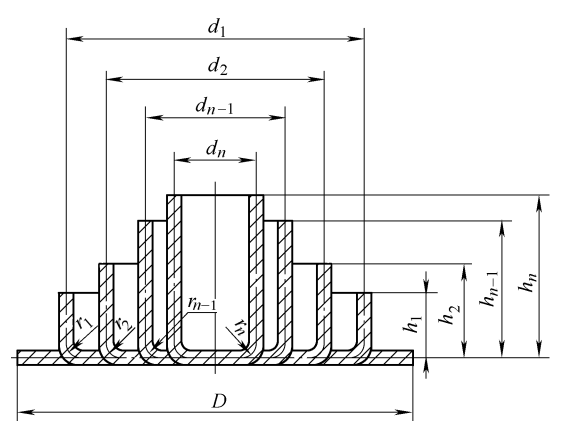


图 5-5　圆筒形件的多次拉深

二、影响拉深系数的因素

影响拉深系数的主要因素见表 5-10。

表 5-10　影响拉深系数的主要因素

序号	因　　素	对拉深系数的影响
1	材料的力学性能	材料的力学性能对拉深系数的影响是最基本的。一般来说，材料组织均匀，晶粒大小适当，材料塑性好（即 A、Z 大），且屈强比小（即 σ_s/R_m 小），则 m 可小些。对于拉深件，一般选用含碳量低的 08、08F、10、10F 钢及塑性好的铝、铜等有色金属
2	材料的相对厚度 t/D	t/D 越大，拉深时抵抗失稳起皱的能力越大，因而可减少压料力，减小摩擦阻力，有利于减小拉深系数
3	拉深次数	在拉深后，材料将产生冷作硬化，塑性降低，故第一次拉深时的 m 值最小，以后各道工序依次增大
4	凸、凹模圆角半径	凸模圆角半径太小，则增大了材料绕凸模弯曲的拉应力；凹模圆角半径太小，同时增大了材料在凹模圆角处的弯曲力，增大了筒壁的拉应力，故要减小拉应力，减小拉深系数，应增大凸、凹模圆角半径。但凸、凹模圆角太大，材料悬空面积增大，容易产生失稳起皱
5	拉深方式（用或不用压边圈）	有压边圈时，因不易起皱，m 可取得小些。不用压边圈时，m 要取大些

（续）

序号	因　素	对拉深系数的影响
6	摩擦与润滑	凹模和压边圈与材料接触的表面应当光滑，润滑条件要好，以减小摩擦阻力和筒壁传力区的拉应力。而凸模端面不宜太光滑，也不宜润滑，以减小凸模与材料的相对滑动，降低危险断面变薄破裂的危险
7	拉深速度	一般情况下拉深速度对拉深系数的影响不大，但对于复杂大型拉深件，由于变形复杂且不均匀，若拉深速度太快，会使局部变形加剧而导致破裂。另外，对速度敏感的金属，如钛合金、不锈钢、耐热钢，拉深速度大时，拉深系数应适当加大

三、无凸缘圆筒形件的拉深系数及工序件尺寸的确定

采用压边圈拉深时的拉深系数见表5-11，不用压边圈拉深时的拉深系数见表5-12，其他金属材料的拉深系数见表5-13，无凸缘圆筒形拉深件相对高度 H/d 与拉深次数的关系见表5-14。

表5-11　带压边圈无凸缘圆筒形件的极限拉深系数

拉深系数	毛坯相对厚度（t/D）×100				
	2.0～1.5	1.5～1.0	1.0～0.5	0.5～0.2	0.2～0.06
m_1	0.46～0.50	0.50～0.53	0.53～0.56	0.56～0.58	0.58～0.60
m_2	0.70～0.72	0.72～0.74	0.74～0.76	0.76～0.78	0.78～0.80
m_3	0.72～0.74	0.74～0.76	0.76～0.78	0.78～0.80	0.80～0.82
m_4	0.74～0.76	0.76～0.78	0.78～0.80	0.80～0.82	0.82～0.84
m_5	0.76～0.78	0.78～0.80	0.80～0.82	0.82～0.84	0.84～0.86

注：1. 表中拉深系数适用于08F、10F、H62等塑性好的材料。

2. 表中较小值适用于大的凹模圆角半径 R_d =（8～15）t，较大值适用于小的凹模半径 R_d =（4～8）t。

3. 对拉深性能较差的材料，如20、25、Q235、Q215钢、硬铝等，应比表中数值大1.5%～2.0%；对于塑性较好的材料，如08Al、软铝等，应比表中数值小1.5%～2.0%。

表5-12　不带压边圈无凸缘圆筒形件的极限拉深系数

拉深系数	毛坯相对厚度（t/D）×100				
	1.5	2.0	2.5	3.0	>3
m_1	0.65	0.60	0.55	0.53	0.50
m_2	0.80	0.75	0.75	0.75	0.70
m_3	0.84	0.80	0.80	0.80	0.75
m_4	0.87	0.84	0.84	0.84	0.78
m_5	0.90	0.87	0.87	0.87	0.82
m_6	—	0.90	0.90	0.90	0.85

注：此表适用范围同表5-11。

表5-13　其他金属材料的拉深系数

材料名称	牌　号	第一次拉深系数 m_1	以后各种拉深系数 m_n
铝和铝合金	8A06-O、1035-O、3A21-O	0.52～0.55	0.70～0.75
铝合金	2A12-O、2A11-O	0.56～0.58	0.75～0.80
黄铜	H62	0.52～0.54	0.70～0.72
	H68	0.50～0.52	0.68～0.72
纯铜	T2、T3、T4	0.50～0.55	0.72～0.80
镍、镁镍、硅镍		0.48～0.53	0.70～0.75
镍黄铜		0.50～0.56	0.74～0.84
白铁皮		0.58～0.65	0.80～0.85
酸洗钢板		0.54～0.58	0.75～0.78
镍铬合金	Cr20Ni80Ti	0.54～0.59	0.78～0.84
合金结构钢	30CrMnSiA	0.62～0.70	0.80～0.84

（续）

材料名称	牌　号	第一次拉深系数 m_1	以后各种拉深系数 m_n
精密合金	4J28、4J29	0.55~0.60	0.80~0.85
无氧铜	T1、T2、T3	0.50~0.58	0.75~0.80
不锈钢	12Cr13	0.52~0.56	0.75~0.78
	12Cr18Ni9	0.50~0.52	0.70~0.75
	12Cr18Ni9Ti	0.52~0.55	0.78~0.81
	06Cr18Ni11Nb、06Cr23Ni13	0.52~0.55	0.78~0.80
钼钛合金		0.72~0.82	0.91~0.97
钽		0.65~0.67	0.84~0.87
铌		0.65~0.67	0.84~0.87
钛合金	TA1	0.58~0.60	0.80~0.85
	TA3	0.60~0.70	0.80~0.85
	TA5	0.60~0.65	0.80~0.85
锌		0.65~0.70	0.85~0.90

表 5-14　无凸缘圆筒形拉深件的最大相对高度 H/d 与拉深次数的关系

拉深系数	毛坯相对厚度（t/D）×100					
	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.08
1	0.94~0.77	0.84~0.65	0.70~0.57	0.62~0.50	0.52~0.45	0.46~0.38
2	1.88~1.54	1.60~1.32	1.36~1.1	1.13~0.94	0.96~0.83	0.9~0.7
3	3.5~2.7	2.8~2.2	2.3~1.8	1.9~1.5	1.6~1.3	1.3~1.1
4	5.6~4.3	4.3~3.5	3.6~2.9	2.9~2.4	2.4~2.0	2.0~1.5
5	8.9~6.6	6.6~5.1	5.2~4.1	4.1~3.3	3.3~2.7	2.7~2.0

注：凹模圆角半径大时（$R_d=8t\sim12t$），H/d 取大值；凹模圆角半径小时（$R_d=8t\sim12t$），H/d 取小值。

1. 拉深次数的确定

1）根据拉深件的相对高度，即高度 H 与直径 d 之比值，从表 5-14 中查出，这是冲压工艺师常用的资料，以此决定模具数量。

2）推算法。这是模具设计师经常使用的方法，由表 5-11、表 5-12、表 5-13 查得各次的拉深系数，然后依次计算出各次拉深直径，即

$d_1=m_1D$；$d_2=m_2d_1$；…；$d_n=m_nd_{n-1}$当算到 $d_n<d$ 时，计算的次数即为拉深次数。

2. 各次拉深工序件尺寸的确定

（1）工序件直径的确定　拉深次数确定之后，当 d_n 比 d 小较多时，必须调整拉深系数，使每次拉深系数都增大些，以便每次拉深都能顺利进行。调整的原则是：

1）保证 $m_1m_2\cdots m_n=d/D$。

2）使 $m_1<m_2<\cdots<m_n$。

3）d_n 取整数或一位小数。

最后按调整后的拉深系数计算出各次工序件尺寸：

$$
\begin{aligned}
d_1&=m_1D\\
d_2&=m_2d_1\\
&\vdots\\
d_n&=m_nd_{n-1}
\end{aligned}
\qquad (5\text{-}10)
$$

（2）工序件圆角半径的确定　圆角半径的确定方法见本章第七节。

（3）工序件高度的计算　根据无凸缘圆筒形件毛坯尺寸计算公式推导出各次工序件高度的计算公式见表 5-15。

表 5-15　无凸缘圆筒形拉深件高度计算

拉深件形状	计算公式
d　H　r	$h_1 = 0.25\left(\frac{D^2}{d_1} - d_1\right) + 0.43\,\frac{r_1}{d_1}\,(d_1 + 0.32r_1)$ $h_2 = 0.25\left(\frac{D^2}{d_2} - d_2\right) + 0.43\,\frac{r_2}{d_2}\,(d_2 + 0.32r_2)$ ⋮ $h_n = 0.25\left(\frac{D^2}{d_n} - d_n\right) + 0.43\,\frac{r_n}{d_n}\,(d_n + 0.32r_n)$ 式中　h_1、h_2、…、h_n——各次工序件高度（mm）； d_1、d_2、…、d_n——各次工序件直径（mm）； r_1、r_2、…、r_n——各次工序件底部圆角半径（mm）； D——毛坯直径（mm）。

例 5-3　求图 5-6 所示筒形件的毛坯直径及拉深各工序件尺寸，材料：08F 钢，厚度：2mm。

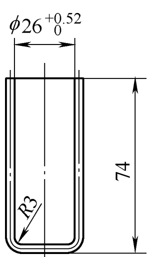
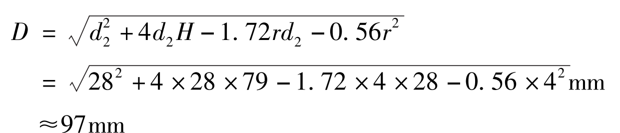


图 5-6　无凸缘筒形拉深件

（1）计算毛坯直径　拉深件相对高度为

$$\frac{H}{d} = \frac{74-1}{26+2} = \frac{73}{28} = 2.61$$

查表 5-1 得切边余量 $\Delta h = 6$mm，拉深件的总高度 $H = 74\text{mm} + 6\text{mm} = 80\text{mm}$，根据表 5-4 序号 15 公式



$$\begin{aligned} D &= \sqrt{d_2^2 + 4d_2H - 1.72rd_2 - 0.56r^2} \\ &= \sqrt{28^2 + 4\times28\times79 - 1.72\times4\times28 - 0.56\times4^2}\,\text{mm} \\ &\approx 97\text{mm} \end{aligned}$$

（2）确定拉深系数　坯料相对厚度为 $(t/D)\times100 = \frac{2}{97}\times100 = 2.06$

查表 5-11 得 $m_1 = 0.5$，$m_2 = 0.72$，$m_3 = 0.74$，$m_4 = 0.76$，$m_5 = 0.78$。故

$$d_1 = m_1D = 0.5\times97\text{mm} = 48.5\text{mm}$$

$$d_2 = m_2d_1 = 0.72\times48.5\text{mm} = 34.9\text{mm}$$

$$d_3 = m_3d_2 = 0.74\times34.9\text{mm} = 25.8\text{mm}$$

$$d_3 = 25.8\text{mm} < 28\text{mm}$$

所以该拉深件三次可以拉深成形。

（3）各次拉深工序尺寸的确定　调整拉深系数（调整拉深直径）

$m_1 = 0.505$（$d_1 = 49$mm）　$m_2 = 0.735$（$d_2 = 36$mm）　$m_3 = 0.778$（$d_3 = 28$mm）

$$d_1 = m_1D = 0.505\times97\text{mm} = 49\text{mm}$$

$$d_2 = m_2d_1 = 0.735\times49\text{mm} = 36\text{mm}$$

$$d_3 = m_3d_2 = 0.778\times36\text{mm} = 28\text{mm}$$

各次工序件底部圆角半径按凸、凹模圆角半径取 $r_1 = 7$mm，$r_2 = 4$mm，$r_3 = 3$mm。

把各次工序件的直径和底部圆角半径代入表 5-15 公式得

$$\begin{aligned} h_1 &= 0.25\left(\frac{D^2}{d_1} - d_1\right) + 0.43\,\frac{r_1}{d_1}\,(d_1 + 0.32r_1) \\ &= 0.25\times\left(\frac{97^2}{49} - 49\right)\text{mm} + 0.43\times\frac{8}{49}\times(49 + 0.32\times8)\ \text{mm} \end{aligned}$$

$$= 39.4\text{mm}$$

$$h_2 = 0.25\left(\frac{D^2}{d^2} - d_2\right) + 0.43\frac{r_2}{d_2}(d_2 + 0.32r_2)$$

$$= 0.25 \times \left(\frac{97^2}{36} - 36\right)\text{mm} + 0.43 \times \frac{5}{36} \times (36 + 0.32 \times 5)\ \text{mm}$$

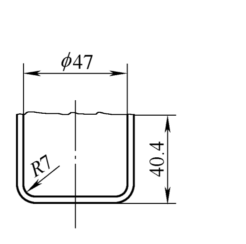
$$= 58.5\text{mm}$$

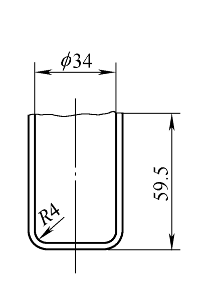
$$h_3 = 79\text{mm}$$

拉深工序如图 5-7 所示。

四、带凸缘圆筒形件的拉深系数及工序件尺寸的确定

拉深带凸缘圆筒形拉深件分两种情况，一种是 $d_t/d = 1.1 \sim 1.4$，称为小凸缘筒形件，另一种情况是 $d_t/d > 1.4$ 称为宽凸缘筒形件。拉深小凸缘筒形件时，可以将其当做无凸缘筒形件进行拉深，只是在最后两道拉深工序中才将工序件拉成具有锥形的凸缘，最后通过整形工序压成平面凸缘。图 5-8 为小凸缘圆筒形件拉深工艺过程。





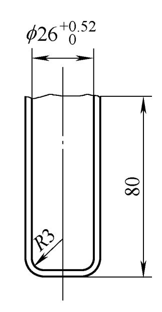


图 5-7　无凸缘筒形件拉深工序图

宽凸缘筒形件的拉深不能采用无凸缘筒形件的拉深系数，因为它只有把凸缘全部转移成拉深件的筒壁才适用。而在拉深宽凸缘件时，在用相同的毛坯直径 D 拉深出相同的直径 d 时，拉深出各种不同凸缘直径 d_t 和不同高度 H 的拉深件，如图 5-9 所示。凸缘直径越小，高度越高，其变形程度越大。因此：用 $m_1 = d/D$ 便不能表达各种不同的 d_t 和 H 下的实际变形程度。

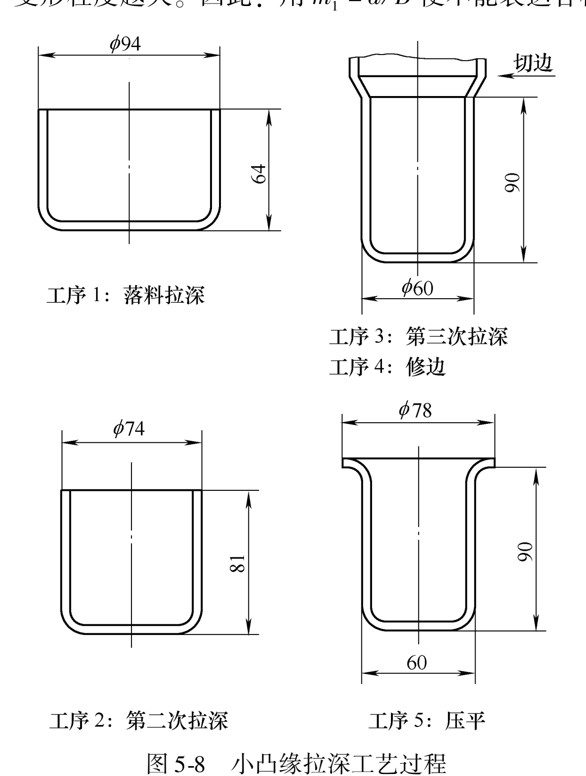


图 5-8　小凸缘拉深工艺过程

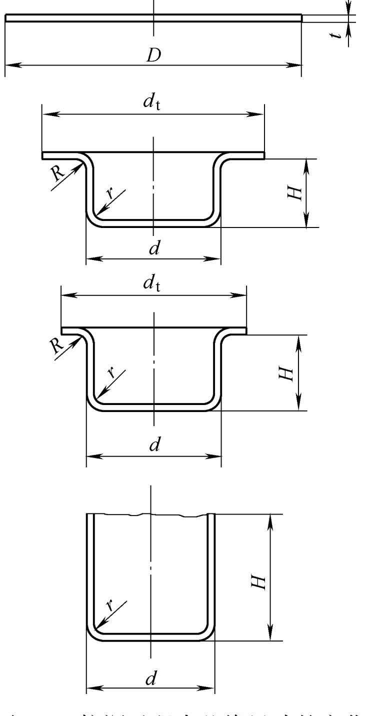


图 5-9　拉深过程中凸缘尺寸的变化

1. 宽凸缘筒形件拉深系数 m_1 的确定

宽凸缘筒形件的拉深如图 5-10 所示，当 $r=R$ 时，按表 5-4 序号 20 公式计算。

$$D=\sqrt{d_t^2+4dH-3.44Rd}$$

$$m_t=\frac{d}{D}=\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{d_t}{d}\right)^2+4\frac{H}{d}-3.44\frac{R}{d}}}$$

上式说明，宽凸缘筒形件的拉深系数取决于 d_t/d、H/d、r/d，此外，还应考虑毛坯相对厚度 t/D 的影响。宽凸缘筒形件第一次拉深的极限拉深系数见表 5-16，宽凸缘筒形件第一次拉深的相对高度 h_1/d_1 见表 5-17。宽凸缘筒形件以后各次的拉深系数见表 5-18。

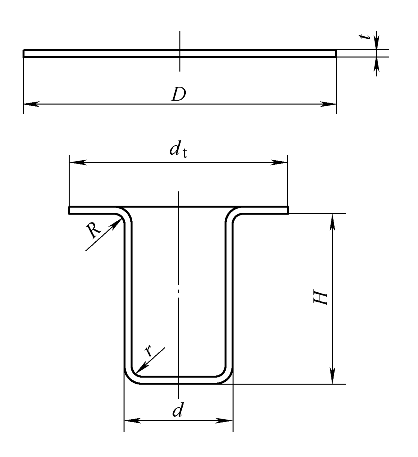


图 5-10　宽凸缘筒形拉深件与毛坯图

表 5-16　宽凸缘筒形件第一次拉深的极限拉深系数

凸缘的相对直径 d_t/d_1	毛坯相对厚度（t/D）×100				
	2.0～1.5	1.5～1.0	1.0～0.6	0.6～0.3	0.3～0.15
1.1	0.50	0.53	0.55	0.57	0.59
1.3	0.49	0.51	0.53	0.54	0.55
1.5	0.47	0.49	0.50	0.51	0.52
1.8	0.45	0.46	0.47	0.48	0.48
2.0	0.42	0.43	0.44	0.45	0.45
2.2	0.40	0.41	0.42	0.42	0.42
2.5	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38
2.8	0.33	0.35	0.35	0.35	0.35
3.0	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33

表 5-17　宽凸缘筒形件第一次拉深的相对高度 h_1/d_1

凸缘的相对直径 d_t/d_1	毛坯相对厚度（t/D）×100				
	2.0～1.5	1.5～1.0	1.0～0.6	0.6～0.3	0.3～0.1
1.1	0.90～0.75	0.82～0.65	0.70～0.57	0.62～0.50	0.52～0.45
1.3	0.80～0.65	0.72～0.56	0.60～0.50	0.53～0.45	0.47～0.40
1.5	0.70～0.58	0.63～0.50	0.53～0.45	0.48～0.40	0.42～0.35
1.8	0.58～0.48	0.53～0.42	0.44～0.37	0.39～0.34	0.35～0.29
2.0	0.51～0.42	0.46～0.36	0.38～0.32	0.34～0.29	0.30～0.25
2.2	0.45～0.35	0.40～0.31	0.33～0.27	0.29～0.25	0.26～0.22
2.5	0.35～0.28	0.32～0.25	0.27～0.22	0.23～0.20	0.21～0.17
2.8	0.27～0.22	0.24～0.19	0.22～0.17	0.18～0.15	0.16～0.13
3.0	0.22～0.18	0.20～0.16	0.17～0.14	0.15～0.12	0.13～0.10

表 5-18　宽凸缘筒形件以后各次的拉深系数

拉深系数 m_n	毛坯相对厚度（t/D）×100				
	2～1.5	1.5～1.0	1.0～0.6	0.6～0.3	0.3～0.15
m_2	0.73	0.75	0.76	0.78	0.80
m_3	0.75	0.78	0.79	0.80	0.82
m_4	0.78	0.80	0.82	0.83	0.84
m_5	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86

注：在应用中间退火的情况下，可以将以后各次的拉深系数减小 5%～8%。

2. 宽凸缘筒形件拉深方法

宽凸缘筒形件需多次拉深的工艺方法通常有两种，如图 5-11 所示。

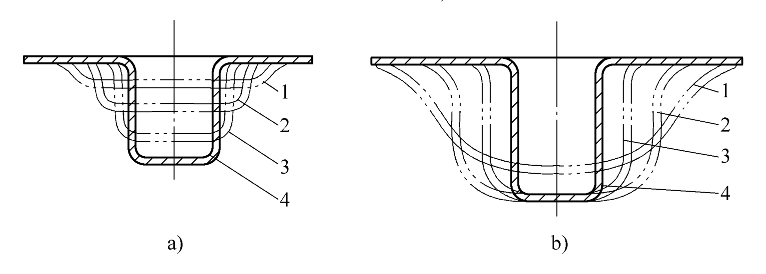


图 5-11　宽凸缘筒形件需多次拉深的工艺方法

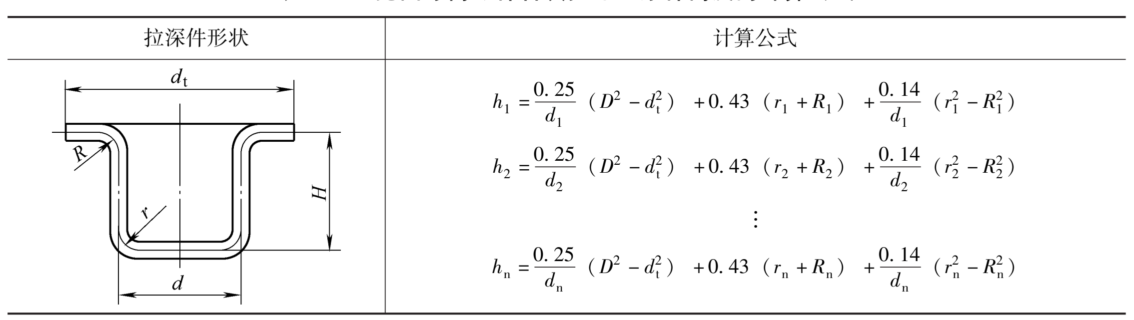
1）通过多次拉深逐步缩小筒形部分直径以增大其高度，如图 5-11a 所示。

2）第一次拉深后的工序件，其凸缘处和底部的圆角半径很大，在以后各次拉深中，高度保持不变，逐步减小圆角半径和筒形部分直径并达到最终尺寸要求，如图 5-11b 所示。

3. 宽凸缘筒形件拉深工序件高度的计算

根据宽凸缘筒形件毛坯直径计算公式推导出各次工序件高度的计算公式见表 5-19。

表 5-19　宽凸缘筒形件各次拉深工序件高度的计算公式

拉深件形状	计算公式
	$h_1=\frac{0.25}{d_1}(D^2-d_t^2)+0.43(r_1+R_1)+\frac{0.14}{d_1}(r_1^2-R_1^2)$ $h_2=\frac{0.25}{d_2}(D^2-d_t^2)+0.43(r_2+R_2)+\frac{0.14}{d_2}(r_2^2-R_2^2)$ ⋮ $h_n=\frac{0.25}{d_n}(D^2-d_t^2)+0.43(r_n+R_n)+\frac{0.14}{d_n}(r_n^2-R_n^2)$

宽凸缘多次拉深必须遵守一个原则，即第一次拉深成宽凸缘工序件时，其凸缘的直径等于制件凸缘直径加上修边余量，在以后各次拉深中仅仅使已拉深成形的工序件的直筒部分参加变形，逐步达到制件尺寸要求，而第一次拉深成形的凸缘直径保持不变。为保证第一次拉深成形时的凸缘直径保持不变，通常有意把第一次拉深时拉入凹模的毛坯面积加大 3% ~5%，在以后各次拉深中，逐步将这多拉入的面积转移到凸缘上去。

4. 宽凸缘筒形件多次拉深工艺计算

例 5-4　试对图 5-12 所示宽凸缘拉深件进行工艺计算，材料：08 钢，厚度 2mm。

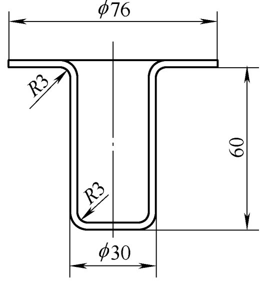


图 5-12　宽凸缘拉深件

（1）预算毛坯直径

$\frac{d_t}{d}=\frac{76}{28}=2.7$，查表 5-2 得 $\Delta R=2.2$，取 2，故实际 $d_t=80\text{mm}$。

凸缘部分面积为

$$A_1=\frac{\pi}{4}\times(80^2-36^2)=\frac{\pi}{4}\times5104\text{mm}^2$$

除凸缘部分面积根据表 5-4 序号 19 公式可推出

$$A_2=\frac{\pi}{4}[d_1^2+4d_2h+2\pi r(d_1+d_2)+4\pi r^2]$$

$$=\frac{\pi}{4}\times[20^2+4\times28\times52+2\pi\times4(20+28)+4\pi\times4^2]=\frac{\pi}{4}\times7630\text{mm}^2$$

$$\frac{\pi D^2}{4}=\left(\frac{\pi}{4}\times 5104+\frac{\pi}{4}\times 7630\right)\text{mm}^2$$

$$D=\sqrt{5104+7630}\text{mm}=112.8\text{mm}$$

取 $D=113\text{mm}$。

（2）判断是否可能一次拉深成形

$$h/d=60/28=2.14,\ \frac{t}{D}\times 100=\frac{2}{113}\times 100=1.77,\ \frac{d_t}{d}=\frac{80}{28}=2.86$$

$$m=\frac{d}{D}=\frac{28}{113}=0.25$$

查表 5-16 和表 5-17 都说明不能一次拉深成形，需多次拉深。

（3）修正毛坯直径　设第一次拉深时要多拉入凹模的毛坯面积为5%，则修正后的毛坯直径为

$$D=\sqrt{5104+7630\times 1.05}\text{mm}=114.5\text{mm}$$

（4）预定首次拉深工序件直径　因为确定宽凸缘拉深件首次拉深系数时，需要知道 d_t/d 的值，所以用逼近法以表格的形式列出有关数据进行比较来选取 m_1 和 d_1 的值，见表 5-20。

表 5-20　用逼近法初选直径 d_1 和拉深系数 m_1

$N=d_t/d_1$ 的假设值	第一次拉深直径 $d_1=d_t/N$	实际拉深系数 $m_1=d_1/D$	极限拉深系数［m_1］（见表 5-16）	拉深系数相差值
1.2	80/1.2 = 66.7	66.7/114.5 = 0.58	0.495	+0.085
1.3	80/1.3 = 61.5	61.5/114.5 = 0.54	0.49	+0.05
1.4	80/1.4 = 57.1	57.1/114.5 = 0.50	0.48	+0.02
1.45	80/1.45 = 55.2	55.2/114.5 = 0.48	0.475	+0.005
1.5	80/1.5 = 53.3	53.3/114.5 = 0.466	0.47	−0.004
1.6	80/1.6 = 50	50/114.5 = 0.437	0.465	−0.028

应取实际拉深系数等于或稍大于极限拉深系数，故暂定第一次拉深直径 $d_1=55.2\text{mm}$。

（5）计算以后各次拉深工序件直径

查表 5-18 得 $m_2=0.73$，$m_3=0.75$，$m_4=0.78$

则 $d_2=m_2d_1=0.73\times 55.2\text{mm}=40.3\text{ mm}$

$d_3=m_3d_2=0.75\times 40.3\text{mm}=30.2\text{ mm}$

$d_4=m_4d_3=0.78\times 30.2\text{mm}=23.6\text{ mm}$

因为 $d_4=23.6\text{mm}<28\text{mm}$，故四次可以拉深成形。

调整拉深系数（调整拉深直径）

$m_1=0.5$，$m_2=0.76$，$m_3=0.8$，$m_4=0.82$

$d_1=m_1D=0.5\times 114.5\text{mm}=57.25\text{mm}$　（取 57mm，$m_1=0.498$）

$d_2=m_2d_1=0.76\times 57\text{mm}=43.3\text{mm}$　（取 43mm，$m_2=0.754$）

$d_3=m_3d_2=0.8\times 43\text{mm}=34.4\text{mm}$　（取 34mm，$m_3=0.791$）

$d_4=m_4d_3=0.82\times 34\text{mm}=27.9\text{mm}$　（取 28mm，$m_4=0.824$）

（6）确定各次工序件中的 R_d 和 r_p

$R_{d1}=r_{p1}=9$，$R_{d2}=r_{p2}=7$，$R_{d3}=r_{p3}=5$，$R_{d4}=r_{p4}=3$

（7）计算各次拉深工序件的高度　根据表 5-19 公式计算

$$h_1=\frac{0.25}{d_1}(D^2-d_t^2)+0.43(r_1+R_1)+\frac{0.14}{d_1}(r_1^2-R_1^2)$$

$$=\frac{0.25}{57}\times(114.5^2-80^2)\text{ mm}+0.43\times(10+10)\text{ mm}+\frac{0.14}{57}\times(10^2-10^2)\text{ mm}=38\text{mm}$$

计算第二次和第三次拉深件高度 h_2 和 h_3 时，需假设第二次多拉入凹模材料的面积为 3%（其余 2% 的材料返回到凸缘上），第三次拉深时多拉入凹模材料的面积为 1.5%（其余 1.5% 的材料返回到凸缘上），第四次拉深达制件高度（原来多拉入 1.5% 的材料返回到凸缘上）。则第二次和第三次拉深假想毛坯直径为

$$D_2=\sqrt{5104+7630\text{mm}\times1.03}=113.9\text{mm}$$

$$D_3=\sqrt{5104+7630\text{mm}\times1.015}=113.4\text{mm}$$

故

$$h_2=\frac{0.25}{d_2}(D_2^2-d_t^2)+0.43(r_2+R_2)+\frac{0.14}{d_2}(r_2^2-R_2^2)$$

$$=\frac{0.25}{43}\times(113.9^2-80^2)\text{ mm}+0.43\times(8+8)\text{ mm}+\frac{0.14}{43}\times(8^2-8^2)\text{ mm}=45\text{mm}$$

$$h_3=\frac{0.25}{d_3}(D_3^2-d_t^2)+0.43(r_3+R_3)+\frac{0.14}{d_3}(r_3^2-R_3^2)$$

$$=\frac{0.25}{34}\times(113.4^2-80^2)\text{ mm}+0.43\times(6+6)\text{ mm}+\frac{0.14}{34}\times(6^2-6^2)\text{ mm}=52.6\text{mm}$$

将上述按中线尺寸计算的工序件尺寸换算成外径和总高度尺寸，如图 5-13 所示。

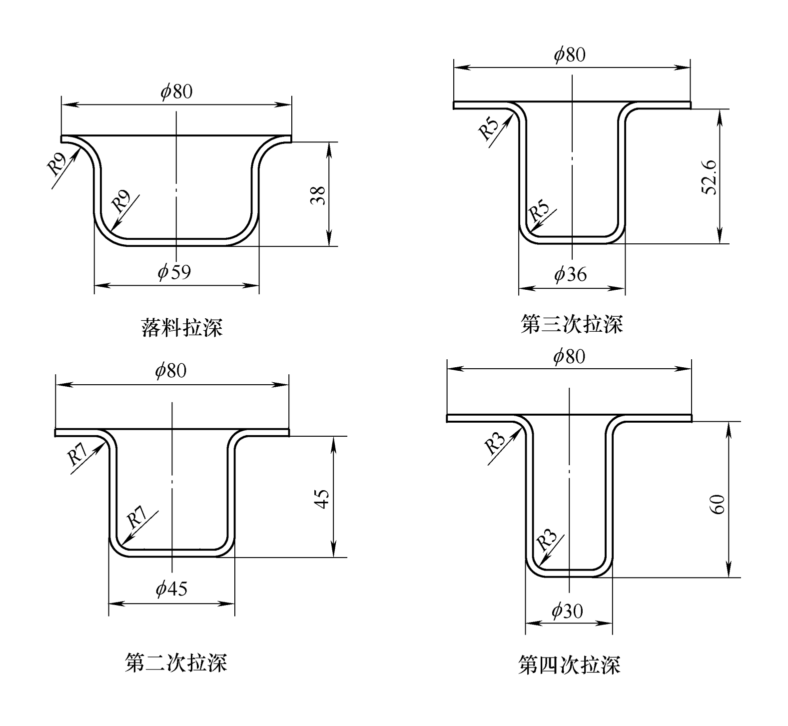


图 5-13　宽凸缘拉深件工序图

第三节　矩形件的拉深

矩形件拉深可近似地认为圆角部分相当于圆筒形件的拉深，直边部分相当于简单的弯曲。但

是，由于圆角和直边是连在一起的整体，圆角部分材料必然要向直边流动，使直边部分材料受到挤压，这种挤压作用离开圆角越远则越弱。

H/B 和 r/B 这两个因素决定了圆角部分材料向制件侧壁转移的程度和侧壁高度的增加量。图 5-14 所示为将矩形件按不同性质划分为 6 个区域，图中曲线 1 和 2 分别表示当毛坯相对厚度（t/D）×100 或（t/B）×100 为 2 或 0.6 时，在一道工序中所能拉深的矩形件的最大高度。位于界限线以上的区域为需要多次拉深的区域（I_a、I_b、I_c），位于限界线以下的区域为只需一次拉深的区域（II_a、II_b、II_c）。

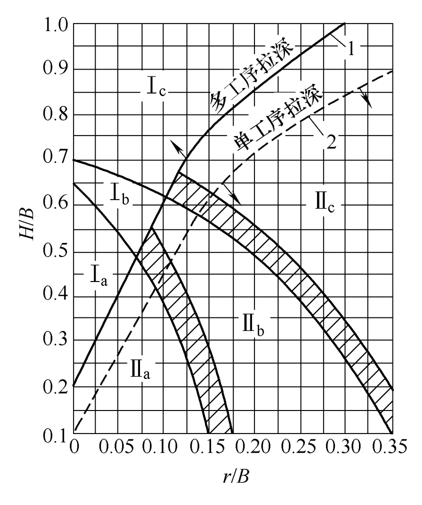


图 5-14　矩形件不同拉深情况的分区图

I_a—$H/B \leqslant 0.5 \sim 0.6$　I_b—$H/B \geqslant 0.6 \sim 0.7$

II_a—$\dfrac{r}{B-H} \leqslant 0.22$　II_b—$0.22 < \dfrac{r}{B-H} < 0.4$

II_c—$\dfrac{r}{B-H} \geqslant 0.4$

一、矩形件拉深毛坯尺寸的确定

1. 矩形件的修边余量

无凸缘矩形件的修边余量见表 5-21，有凸缘矩形件的修边余量可参考表 5-2 选取（将 d_t/d 改为 B_t/B 即可）。

表 5-21　无凸缘矩形件的修边余量

	制件相对高度 H_0/r			
	2.5～6	7～17	18～44	45～100
	修边余量 ΔH			
	（0.03～0.05）H_0	（0.04～0.06）H_0	（0.05～0.08）H_0	（0.06～0.10）H_0

2. 一次拉深成形的矩形件毛坯尺寸的计算

（1）角部圆角半径较小的低矩形件 II_a 区　这一区域的矩形件在拉深过程中，只有微量的材料从矩形件的圆角处转移到侧壁上，几乎没有增补侧壁高度，其毛坯尺寸的计算和作图顺序如下：

1）首先将矩形件的直边按弯曲变形计算，圆角部分按四分之一圆筒形拉深变形分别展开得 $ABCDEF$ 轮廓的坯料，如图 5-15 所示。其中

无凸缘时，$l = H + 0.57r_d$　　(5-11)

$$R = \sqrt{2rH}\quad \text{当 } r = r_d \text{ 时} \qquad (5\text{-}12)$$

$$R = \sqrt{r^2 + 2rH - 0.86r_d\ (r + 0.16r_d)} \qquad (5\text{-}13)$$

有凸缘时，$l = H + R_t - 0.43\ (r_t + r_d)$　　(5-14)

$$R = \sqrt{R_t^2 + 2rH - 0.86\ (r_t + r_d)\ + 0.14\ (r_t^2 + r_d^2)} \qquad (5\text{-}15)$$

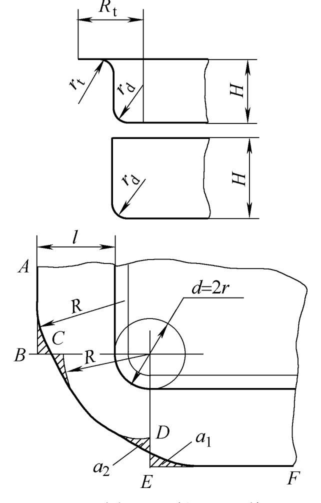


图 5-15　低矩形件毛坯作图法

式中，H、R_t 当制件高度较小又要求不高时可不加修边余量，否则应加修边余量。

2）修正展开的毛坯形状，使圆角到直边光滑过渡，作法是：从 BC、ED 中点作圆弧 R 的切线，再以 R 为半径作圆弧与直边和切线相切，这时面积 $a_1=a_2$。

（2）角部圆角半径较大的低矩形件 II_b 区　这时制件的角部圆角半径较大，拉深时从圆角处转移到侧壁处的材料增多，其毛坯尺寸的计算和作图应先按上述方法作出 l、R，如图 5-16 所示，然后按下述方法修正：

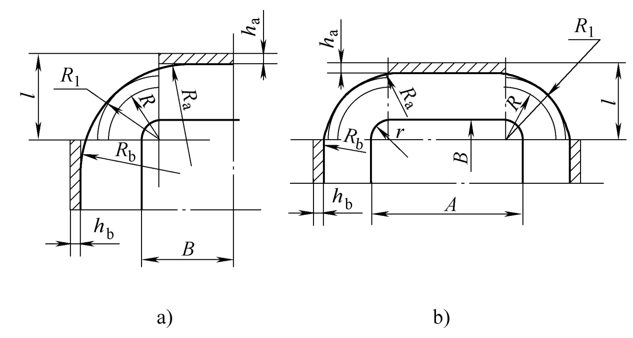


图 5-16　角部圆角半径较大的低矩形件的毛坯作图法

a）正方形　b）矩形

1）对圆角部分展开后的半径 R 修正为 R_1，以补偿挤入侧壁的材料，$R_1=xR$，系数 x 查表 5-22。

2）对直边部分展开后的长度 l 进行修正，减去 h_a 和 h_b。

$$h_a=y\frac{R^2}{A-2r} \tag{5-16}$$

$$h_b=y\frac{R^2}{B-2y} \tag{5-17}$$

y 值查表 5-22。

表 5-22　计算矩形件毛坯尺寸的修正系数 x 和 y

角部的相对圆角半径 r/B	系数 x 的值				系数 y 的值			
	相对拉深高度 H/B							
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6
0.10	—	1.09	1.12	1.16	—	0.15	0.20	0.27
0.15	1.05	1.07	1.10	1.12	0.08	0.11	0.17	0.20
0.20	1.04	1.06	1.08	1.10	0.06	0.10	0.12	0.17
0.25	1.035	1.05	1.06	1.08	0.05	0.08	0.10	0.12
0.30	1.03	1.04	1.05	—	0.04	0.06	0.08	—

3）毛坯尺寸修正后，用半径 R_a 和 R_b 的圆弧连成光滑外形，即得所求之毛坯形状和尺寸。

（3）角部具有大圆角半径的较高矩形件 II_c 区　这类制件有大量材料从圆角处转移到侧壁，使侧壁高度显著增加。毛坯尺寸的计算根据矩形件的表面积与毛坯面积相等的原则进行。对于正方形毛坯形状近似为圆，对于矩形件毛坯为长圆形，如图 5-17 所示。

1）对于方形件拉深可采用圆形毛坯，如图 5-17a 所示。

当 $r=r_d$ 时

$$D=1.13\sqrt{B^2+4B(H-0.43r)-1.72r(H+0.33r)} \tag{5-18}$$

当 $r\neq r_d$ 时

$$D=1.13\sqrt{B^2+4B(H-0.43r_d)-1.72r(H+0.5r)-4r_d(0.11r_d-0.18r)} \tag{5-19}$$

2）对于矩形件拉深可看作由两个宽度为 B 的半正方形和中间为 $A-B$ 的直边所组成。此时，毛坯形状是由两个半径为 R 的半圆弧和两个平行边所组成的长圆形，如图 5-17b 所示。

其中，毛坯长度为

$$L=D+(A-B) \tag{5-20}$$

式中　D——尺寸为 $B\times B$ 的假想方形件的毛坯直径，$D=2R_b$。

毛坯宽度为

$$K=\frac{D\ (B-2r)\ +\ [B+2\ (H-0.43r_d)]\ (A-B)}{A-2r} \tag{5-21}$$

3. 多次拉深的矩形件毛坯尺寸计算

多次拉深区可分为 I_a 和 I_b 两个区域，I_b 是 I_a 和 I_c 之间过渡区域，其毛坯尺寸计算方法可用 I_a 或 I_c，视具体情况而定。

（1）角部具有较小圆角半径的较高矩形件区 I_a　这一区域相对高度虽不大，但由于圆角半径太小，若一次拉深会因局部变形大而使底部破裂，一般采用两次拉深，第二次拉深近似于整形，主要是用来减小角部和底部圆角，外形基本不变，因此求毛坯尺寸的方法同 II_a，如图 5-14 所示。

由于制作圆角部分要两次拉深，同时材料会向侧壁流动，所以可将展开圆角半径 R 加大 10%～20%。

当 $r=r_d$ 时，$R=(1.1\sim1.2)\ \sqrt{2rH}$

两次拉深的相互关系应符合下列要求，如图 5-18 所示。

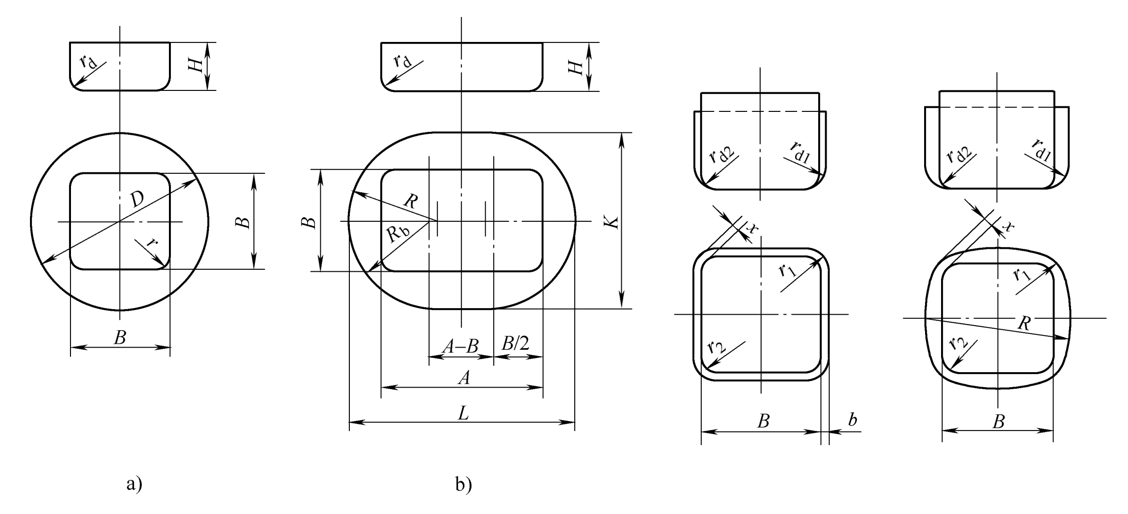


图 5-17　角部圆角半径较大的较高低矩形件毛坯形状和尺寸　　图 5-18　角部半径进行整形的方形件拉深

1）两次拉深的角部圆角半径的中心不同。

2）第二次拉深可不用压边圈，故工序间的壁间距 b 和角间距 x 不宜太大，可采用 $B=(4\sim5)\ t$，$x\leqslant0.4b$ 或取 $x=0.5\sim2.5$mm。

3）第二次拉深高度的增量

$$\Delta H=b-0.43\ (r_{d1}-r_{d2})$$

（2）高矩形件多次拉深毛坯尺寸的确定——I_c　毛坯尺寸的确定与 II_c 相同。对于方形件，毛坯直径为圆形，可按公式（5-18）、（5-19）进行计算。对于矩形件，毛坯尺寸为长圆形，可按公式（5-20）、（5-21）进行计算；或椭圆形，L 和 K 按公式（5-20）、（5-21）进行计算

$$R_b=\frac{D}{2}$$

$$R_a=\frac{0.25\ (L^2+K^2)\ -LR_b}{K-2R_b} \tag{5-22}$$

二、矩形件拉深系数、拉深次数及工序件尺寸的确定

1. 低矩形件拉深工艺计算

这里指的低矩形件包括一次拉深成形的Ⅱ$_a$、Ⅱ$_b$和较高深度的Ⅱ$_c$区，以及需两次拉深，但第二次近似整形的Ⅰ$_a$区。

1）按上述公式和方法计算确定毛坯尺寸。

2）计算相对高度 H/B 与表 5-23 所列的 H_1/B_1 相比，若 $H/B < H_1/B_1$，则可一次拉深成形，若 $H/B > H_1/B_1$，则不能一次拉深成形。

3）核算角部的拉深系数。对于低矩形件，由于圆角部分对直边部分的影响相对较小，圆角处的变形最大，故变形程度用圆角处的拉深系数表示

$$m_1 = \frac{r_1}{R_y} \tag{5-23}$$

式中　r_1——角部圆角半径（mm）；

R_y——毛坯圆角部分的假想半径（mm），见图 5-15，$R_y = R$。

若 m_1 大于表 5-24 中的 m_1 时，则可一次拉深成形，若小于表 5-24 中的 m_1，则不能一次拉深成形。

当 $r_1 = r_d$ 时，一次拉深变形也可用矩形件的比值 H/r 来表示

$$m_1 = \frac{d_1}{D} = \frac{2r}{2\sqrt{2rH}} = \frac{1}{\sqrt{2\frac{H}{r}}} \tag{5-24}$$

矩形件角部第一次拉深系数 m_1 见表 5-24。矩形件一次拉深许可的最大比值 H_1/r_1 见表 5-25。

表 5-23　一次所能拉深成形矩形件的最大相对高度 H_1/B_1

角部相对圆角半径 r/B	毛坯相对厚度 $\frac{t}{B}\times 100$			
	2.0～1.5	1.5～1.0	1.0～0.5	0.5～0.2
0.30	1.2～1.5	1.1～0.95	1.0～0.90	0.90～0.85
0.20	1.0～0.90	0.90～0.82	0.85～0.70	0.80～0.70
0.15	0.90～0.75	0.80～0.70	0.75～0.65	0.70～0.60
0.10	0.8～0.6	0.70～0.55	0.65～0.50	0.60～0.45
0.05	0.7～0.5	0.60～0.45	0.55～0.40	0.50～0.35
0.02	0.50～0.40	0.45～0.35	0.40～0.30	0.35～0.25

注：1. 表中所列数据适用于 08 钢和 10 钢，对于其他材料，应根据金属的塑性加以修正，例如 20～25 钢带修正系数为 0.85～0.9。

2. 对于较小尺寸的矩形件（$B<100$mm）取较大值，对大尺寸的矩形件取较小值。

表 5-24　矩形件角部第一次拉深系数 m_1

r/B	毛坯相对厚度 $\frac{t}{D}\times 100$							
	0.3～0.6		0.6～1.0		1.0～1.5		1.5～2.0	
	矩形	方形	矩形	方形	矩形	方形	矩形	方形
0.025	0.31		0.30		0.29		0.28	
0.05	0.32		0.31		0.30		0.29	
0.10	0.33		0.32		0.31		0.30	
0.15	0.35		0.34		0.33		0.32	
0.20	0.36	0.38	0.35	0.36	0.34	0.35	0.33	0.34
0.30	0.40	0.42	0.38	0.40	0.37	0.39	0.36	0.38
0.40	0.44	0.48	0.42	0.45	0.41	0.43	0.40	0.42

注：1. 表中所列数值适用于 08 钢，对于塑性差的材料，应适当加大，对于塑性好的材料，可适当减小。

2. D 对于正方形指毛坯直径，对于矩形指坯料宽度。

表 5-25　矩形件一次拉深许可的最大比值 H_1/r_1

r/B	方形件			矩形件		
	毛坯相对厚度 $\frac{t}{D}\times 100$					
	0.3~0.6	0.6~1	1~2	0.3~0.6	0.6~1	1~2
0.4	2.2	2.5	2.8	2.5	2.8	3.1
0.3	2.8	3.2	3.5	3.2	3.5	3.8
0.2	3.5	3.8	4.2	3.8	4.2	4.6
0.1	4.5	5.0	5.5	4.5	5.0	5.5
0.05	5.0	5.5	6.0	5.0	5.5	6.0

2. 高正方形多次拉深工艺计算

（1）高正方形多次拉深工艺计算程序

1）初步估计拉深次数，根据制件相对厚度 t/B 和相对高度 H/B，查表 5-26 初步估计拉深次数。

2）确定毛坯形状和尺寸，根据制件相对高度 H_0/r 查表 5-21 确定修边余量，再根据公式（5-18）或（5-19）计算毛坯直径。

3）校核是否需要多次拉深成形，根据 r/B、$(t/D)\times 100$ 查表 5-25 校核是否需要多次拉深成形。

4）确定各次拉深工序件尺寸，根据 r/B 查表 5-27 求角部壁间距 δ 或当 $(t/D)\times 100=2$ 或 $B=50t$ 时查图 5-19 求直边壁间距 b_n，确定各次拉深工序件尺寸。

（2）采用角部壁间距 δ 的方法确定各次拉深工序件尺寸　图 5-20a 所示为方形件多工序拉深工序件形状和尺寸。采用直径为 D 的毛坯，各中间工序都拉成圆筒形，最后一道拉成方形件。

计算从 $n-1$ 道工序开始，$n-1$ 道工序件的直径为

$$d_{n-1}=1.41B-0.82r+2\delta \tag{5-25}$$

式中　d_{n-1}——$n-1$ 次拉深所得工序件内径（mm）；

B——方形件边长（内形尺寸）（mm）；

r——方形件角部内圆角半径（mm）；

δ——角部壁间距（mm），δ 值列于表 5-27。

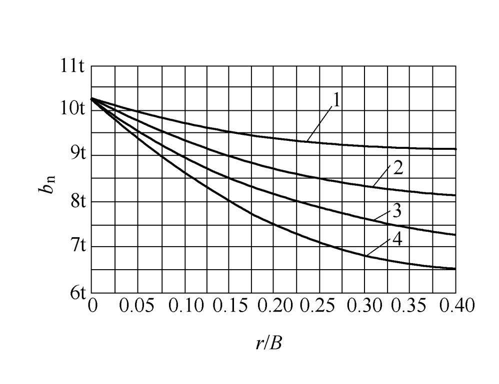


图 5-19　b_n 数值与比值 r/B 及预拉深次数（1~4）的关系

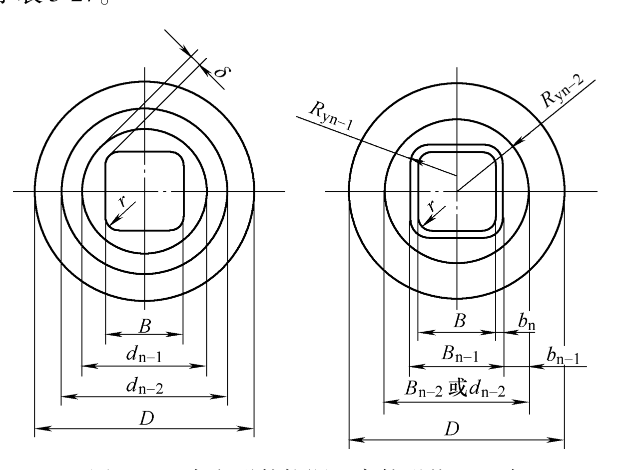


图 5-20　高方形件拉深工序件形状和尺寸

表 5-26　矩形件多次拉深所得能达到的最大相对高度 H/B

拉深次数	毛坯相对厚度$\frac{t}{D}\times100$			
	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 0.8	0.8 ~ 1.3	1.3 ~ 2.0
1	0.50	0.58	0.65	0.75
2	0.70	0.80	1.0	1.2
3	1.20	1.30	1.6	2.0
4	2.0	2.2	2.6	3.5
5	3.0	3.4	4.0	5.0
6	4.0	4.5	5.0	6.0

表 5-27　角部壁间距 δ 值

角部相对圆角半径 r/B	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
相对壁间距 δ/r	0.12	0.13	0.135	0.16	0.17	0.2

表 5-28　矩形件以后各次拉深系数

$\frac{r}{B}$	毛坯相对厚度$\frac{t}{D}\times100$			
	0.3 ~ 0.6	0.6 ~ 1	1 ~ 1.5	1.5 ~ 2
0.025	0.52	0.50	0.48	0.45
0.05	0.56	0.53	0.50	0.48
0.10	0.60	0.56	0.53	0.50
0.15	0.65	0.60	0.56	0.53
0.20	0.70	0.65	0.60	0.56
0.30	0.72	0.70	0.65	0.60
0.40	0.75	0.73	0.70	0.67

其他各道拉深工序相当于将直径为 D 的毛坯，拉深成直径为 d_{n-1}、高度为 H_{n-1} 的圆筒形件，因而工序件尺寸计算与圆筒形件拉深的计算方法相同。

采用角部壁间距实质上是选择适当的角部拉深系数作为工序件的计算基础，它适用于（t/B）$\times100\geqslant2$ 的拉深件。

（3）采用直边壁间距 b_n 的方法确定各次拉深工序件尺寸　图 5-20b 所示为采用适当的直边壁间距 b_n 的计算方法，这种方法实质上是以平均拉深系数作为工序件的计算基础。壁间距 b_n 值可查图 5-19。

采用直边壁间距 b_n 方法是 $n-1$ 道工序拉成较大圆角的方形件，最后再拉成方形件，其余工序拉深成圆筒形件。

计算从 $n-1$ 道工序开始

$$B_y\approx50t \tag{5-26}$$

$$b_n\leqslant10t\quad \text{查图 5-19} \tag{5-27}$$

$$R_{yn-1}=0.5B_y+b_n \tag{5-28}$$

$$B_{n-1}=B+2b_n \tag{5-29}$$

$$H_{n-1}=0.88H \tag{5-30}$$

$n-2$ 道工序计算

$$R_{yn-2}=\frac{R_{yn-1}}{m_{n-1}} \tag{5-31}$$

$$b_{n-1}=[R_{yn-2}-R_{yn-1}+0.207(B-B_y)] \tag{5-32}$$

$$d_{n-2}=2[R_{yn-2}+0.707(B-B_y)] \tag{5-33}$$

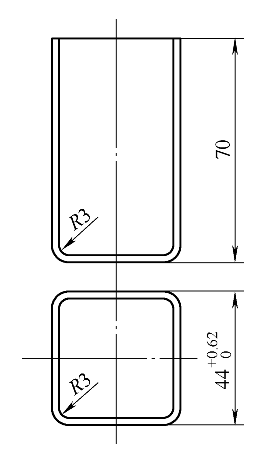


图 5-21　方形制件图

其他各道拉深工序相当于将直径为 D 的毛坯，拉深成 d_{n-2}，高度为 H_{n-2}的圆筒形件，因而工序件尺寸的计算与圆筒形件拉深的计算方法相同。

例 5-5　确定图 5-21 所示方形件拉深工序件的形状和尺寸。材料为 08F 钢，厚度为 1mm。

1）初步估计拉深次数，根据制件相对高度 $H/B=70/44=1.59$，相对厚度（t/B）$\times 100=2.27$，查表 5-26。初步估计需三次拉深成形。

2）确定毛坯的形状和尺寸，根据制件的相对高度 $H_0/r=70/3=23.3$，查表 5-21，修边余量 $\Delta H=$（0.05～0.08）$H_0=4\text{mm}$，所以制件总高度为 74mm。毛坯直径

$$\begin{aligned}D&=1.13\sqrt{B^2+4B(H-0.43r)-1.72r(H+0.33r)}\\&=1.13\times\sqrt{44^2+4\times 44\times(74-0.43\times 3)-1.72\times 3\times(74+0.33\times 3)}\text{mm}\\&=135.3\text{mm}\end{aligned}$$

3）校核是否需要多次拉深成形，根据 $r/B=3/44=0.068$，（t/D）$\times 100=$（1/135.3）$\times 100=0.74$，查表 5-25 得矩形件第一次拉深许可的最大比值 $H_1/r_1\approx 5.3$，故一次拉深的极限高度 $H_1=5.3\times 3\text{mm}=15.9\text{mm}$，所以不能一次拉深成形。

4）确定各次拉深工序件尺寸

①　计算从 $n-1$ 道开始

根据 $r/B=0.068$，查表 5-27 得

$$\delta=0.132r=0.132\times 3\text{mm}=0.4\text{mm}$$

$$d_{n-1}=1.41B-0.82r+2\delta=1.41\times 44\text{mm}-0.82\times 3\text{mm}+2\times 0.4\text{mm}=60.4\text{mm}$$

取 $r_{dn-1}=4\text{mm}$，则

$$\begin{aligned}h_{n-1}&=0.25\left(\frac{D^2}{d_{n-1}}-d_{n-1}\right)+0.43\frac{r_{dn-1}}{d_{n-1}}(d_{n-1}+0.32r_{dn-1})\\&=0.25\times\left(\frac{135.3^2}{60.4}-60.4\right)\text{mm}+0.43\times\frac{4}{60.4}\times(60.4+0.32\times 4)\ \text{mm}=62.4\text{mm}\end{aligned}$$

②　$n-2$ 道工序件尺寸计算。初步订拉深次数为 3 次，所以从 $n-2$ 到 $n-1$ 道的拉深属于第二次拉深，根据（t/D）$\times 100=0.74$，查表 5-11 取

m_2（m_{n-1}）$=0.76$，m_1（m_{n-2}）$=0.56$

得 $d_{n-2}=\dfrac{d_{n-1}}{m_{n-1}}=\dfrac{60.4\text{mm}}{0.76}=79.5\text{mm}$

而 $m_1=\dfrac{d_{n-2}}{D}=\dfrac{79.5}{135.3}=0.59$

调整拉深系数：$m_{n-1}=m_2=0.78$

$d_{n-2}=\dfrac{d_{n-1}}{m_{n-1}}=\dfrac{60.4\text{mm}}{0.78}=77.4\text{mm}$

而 $m_1=\dfrac{d_{n-2}}{D}=\dfrac{77.4}{135.3}=0.57$

故从毛坯 $D=135.3\text{mm}$，拉深到 $d_{n-2}=77.4\text{mm}$ 是可行的。

取 $r_{dn-2}=6\text{mm}$，则

$$h_{n-2}=0.25\left(\frac{D^2}{d_{n-2}}-d_{n-2}\right)+0.43\frac{r_{dn-2}}{d_{n-2}}(d_{n-2}+0.32r_{dn-2})$$

$$=0.25\times\left(\frac{135.3^2}{77.4}-77.4\right)\text{mm}+0.43\times\frac{6}{77.4}\times(77.4+0.32\times6)\ \text{mm}$$

$$=42.6\text{mm}$$

故制件三次拉深成形，各道工序件尺寸如图5-22所示。

例5-6　确定图5-23所示方形件拉深工序件的形状和尺寸。材料为08F钢，厚度为0.5mm。

（1）初步估计拉深次数　根据制件相对高度 $H/B=75/60=1.25$，相对厚度 $(t/B)\times100=(0.5/60)\times100=0.83$，查表5-26，初步估计需三次拉深成形。

（2）确定毛坯的形状和尺寸　根据制件相对高度 $H_0/r=75/6=12.5$，查表5-21，得 $\Delta H=(0.04\sim0.06)H_0=4\text{mm}$，所以制件总高度为79mm。

$$D=1.13\sqrt{B^2+4B(H-0.43r)-1.72r(H+0.33r)}$$

$$=1.13\times\sqrt{60^2+4\times60\times(79-0.43\times6)-1.72\times6\times(79+0.33\times6)}\text{mm}$$

$$=164\text{mm}$$

（3）校核是否需要多次拉深成形　根据 $r/B=6/60=0.1$，$(t/D)\times100=(0.5/164)\times100=0.3$，查表5-25得矩形件第一次拉深许可的最大比值 $H_1/r_1\approx4.5$，故一次拉深的极限高度 $H_1=4.5r_1=4.5\times6\text{mm}=27\text{mm}$，而制件总高度为79mm，所以不能一次拉深成形。

（4）确定各次拉深工序件形状和尺寸

计算从 $n-1$ 道工序开始

$$B_y=50t=50\times0.5\text{mm}=25\text{mm}$$

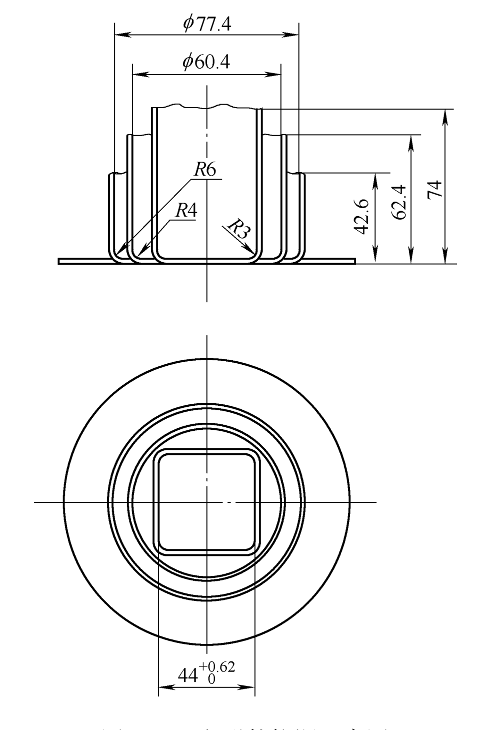




图5-22　方形件拉深工序图

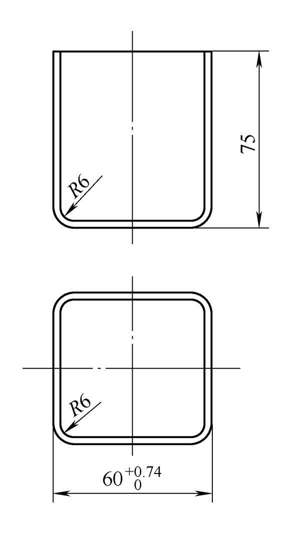


图5-23　方形制件图

根据 $r/B=0.1$ 查图5-19和公式（5-26）～公式（5-32）得

$$b_n = 9t = 9 \times 0.5\text{mm} = 4.5\text{mm}$$

$$R_{yn-1} = 0.5B_y + b_n = 0.5 \times 25\text{mm} + 4.5\text{mm} = 17\text{mm}$$

$$B_{n-1} = B + 2b_n = 60 + 2 \times 4.5\text{mm} = 69\text{mm}$$

$$H_{n-1} = 0.88H = 69.5\text{mm}$$

初定拉深次数为三次，所以 $n-2$ 道 ~ $n-1$ 道的拉深属于第二道拉深，根据 $(t/D) \times 100 = 0.3$，查表 5-11 得

$$m_1(m_{n-2}) = 0.56,\ m_2(m_{n-1}) = 0.76$$

$$R_{yn-2} = \frac{R_{yn-1}}{m_{n-1}} = \frac{17\text{mm}}{0.76} = 22.4\text{mm}$$

$$\begin{aligned} b_{n-1} &= R_{yn-2} - R_{yn-1} + 0.207(B - B_y) \\ &= 22.4 - 17 + 0.207 \times (60 - 25) \\ &= 12.6\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{n-2} &= 2[R_{yn-2} + 0.707(B - B_y)] \\ &= 2 \times [22.4 + 0.707 \times (60 - 25)]\text{mm} \\ &\approx 94\text{mm} \end{aligned}$$

取 $r_{dn-2} = 12\text{mm}$

$$\begin{aligned} h_{n-2} &= 0.25\left(\frac{D^2}{d_{n-2}} - d_{n-2}\right) + 0.43\frac{r_{dn-2}}{d_{n-2}}(d_{n-2} + 0.32r_{dn-2}) \\ &= 0.25 \times \left(\frac{164^2}{94} - 94\right)\text{mm} + 0.43 \times \frac{12}{94} \times (94 + 0.32 \times 12)\text{mm} \\ &= 53.4\text{mm} \end{aligned}$$

检查能否由毛坯 D 直接拉成 d_{n-2}，$\frac{d_{n-2}}{D} = \frac{94}{164} = 0.573$，在 $m_1 = 0.56 \sim 0.58$ 之间，故三次可拉深成形，各道拉深工序件尺寸如图 5-24 所示。

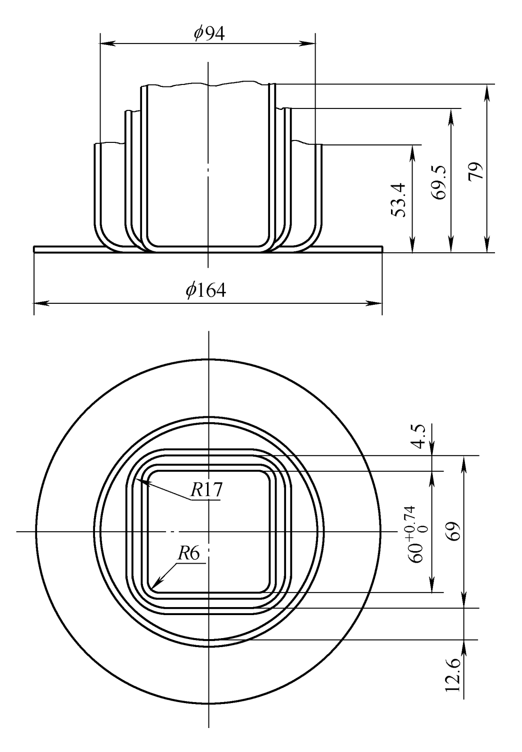


图 5-24　方形件拉深工序图

3. 高矩形多次拉深工艺计算

图 5-25 所示是两种不同矩形件的拉深方法。第一种拉深方法的毛坯和中间工序是椭圆形，由半径分别为 R_a 和 R_b 的四个圆弧相接而成，而最后一道工序拉深成矩形，这种方法最后一次拉深材料变形不均匀性较大，容易局部起皱或破裂。因而适用于毛坯相对厚度较大，即 $(t/B) \times 100 \geqslant 2$，壁间距较小，即 $b_n \leqslant 10t$ 的矩形件。

第二种拉深方法的毛坯和中间工序过渡形状是长圆形，这种拉深方法的优点是给最后一次拉深创造了有利条件。拉深方法和工序件尺寸计算与方形件一样，都是从 $n-1$ 道开始，计算程序及公式见表 5-29。

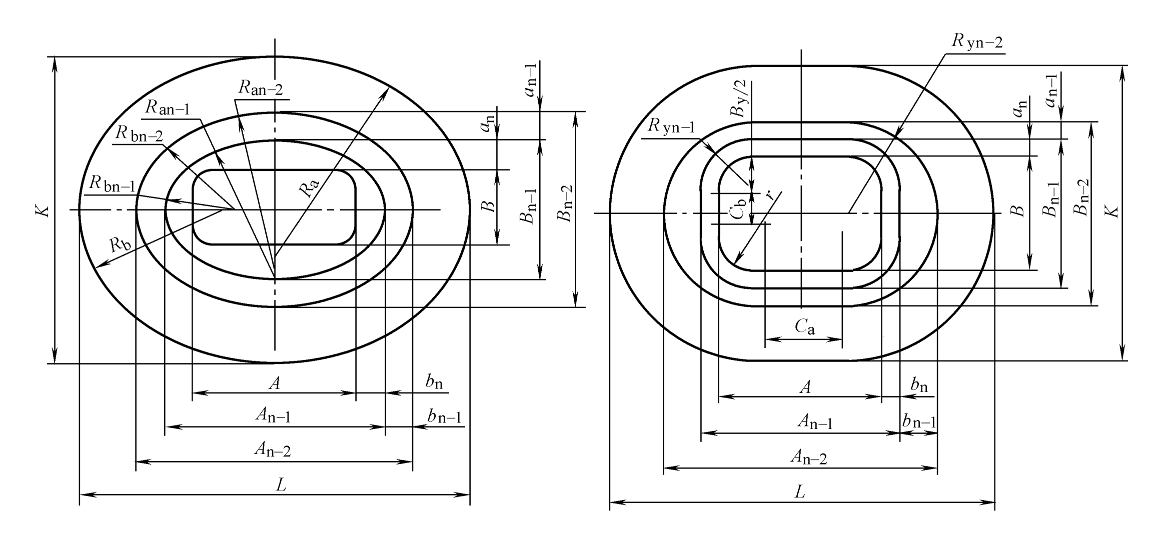


图 5-25　高矩形件多次拉深各道工序件的形状和尺寸

表 5-29　高矩形件多次拉深的计算程序与公式

决定的数值	计算程序与公式	
	第一种方法	第二种方法
相对厚度	$\frac{t}{B}\times 100\geqslant 2$	$\frac{t}{B}\times 100\geqslant 1$
圆角半径	$r\geqslant 6t$	
拉深件高度	$H=(1.05\sim 1.1)H_0$，H_0——工件高度	
毛坯直径	$r=r_d$：$D=1.13\sqrt{B^2+4B(H-0.43r)-1.72r(H+0.33r)}$	
	$R>r_d$：$D=1.13\sqrt{B^2+4B(H-0.43r_d)-1.72r(H+0.5r)-4r_d(0.11r_d-0.18r)}$	
毛坯的长度	$L=D+(A-B)$	
毛坯的宽度	$K=\frac{D(B-2r)+[B+2(H-0.43r_d)](A-B)}{A-2r}$	
毛坯的半径	$R_b=0.5D$ $R_a=\frac{0.25(L^2+K^2)-LR_b}{K-2R_b}$	$R_b=0.5K$
拉深比例系数	$x_1=\frac{K-B}{L-A}$	
工序间距离	$b_n\leqslant 10t$，$a_n=x_1b_n$ b_n 取决于$\frac{r}{B}$及拉深次数(见图 5-19)	$b_n\leqslant 10t$，$a_n=x_1b_n$ b_n 取决于$\frac{r}{B_y}$及拉深次数(见图 5-19)
拉深件假想宽度	—	$B_y\approx 50t$
最后一次拉深时角的间隙(包括 t)	$\delta=b_n+0.41r-0.207B$	$\delta=b_n+0.41r-0.207B_y$
$n-1$ 次拉深尺寸	$A_{n-1}=A+2b_n$，$B_{n-1}=B+2a_n$	
$n-1$ 次拉深半径	$R_{bn-1}=0.5B+b_n$ $R_{an-1}=\frac{0.25(A_{n-1}^2+B_{n-1}^2)-A_{n-1}R_{bn-1}}{B_{n-1}-2R_{bn-1}}$ R_{an-1}可用作图法求得	$R_{yn-1}=0.5B_y+b_n$

（续）

决定的数值	计算程序与公式	
	第一种方法	第二种方法
$n-2$ 次拉深半径	$R_{bn-1}=\dfrac{R_{bn-1}}{m_{n-1}}$ 在第三次拉深时 $R_{bn-2}=0.5Dm_1$	$R_{yn-2}=\dfrac{R_{yn-1}}{m_{n-1}}$ $R_{bn-2}=\dfrac{B_{n-2}}{2}$
	$R_{an-2}=\dfrac{0.25(A_{n-2}^2+B_{n-2}^2)-A_{n-2}R_{bn-2}}{B_{n-2}-2R_{bn-2}}$ R_{bn-2}可用作图法求得	$=\dfrac{R_{yn-1}}{m_{n-1}}+0.707(B-B_y)$
工序间距离	$b_{n-1}=R_{bn-2}-R_{bn-1}$ $a_{n-1}=(R_{bn-2}-R_{bn-1})x_1$	$b_{n-1}=R_{yn-2}-R_{yn-1}$ $a_{n-1}=x_1b_{n-1}$
$n-2$ 次拉深的尺寸	$B_{n-2}=B+2(a_n+a_{n-1})$ $A_{n-2}=A+2(b_n+b_{n-1})$	$B_{n-2}=B+2(a_n+a_{n-1})$ $A_{n-2}=A+2(b_n+b_{n-1})$
各次拉深高度	$H_{n-1}\approx 0.88H$；$H_{n-2}\approx 0.86H_{n-1}$	
以后各次计算与前相同，直到能从毛坯直接进行拉深为止	对椭圆形毛坯 $m_1=\dfrac{R_{bn-2}}{R_b}=0.5\sim0.6$ （R_{bn-2}即R_{b1}） 对于圆形毛坯 $m_1=\dfrac{R_{bn-2}}{0.5(D-C_a)}=0.5\sim0.6$	对椭圆形毛坯 $m_1=\dfrac{R_{yn-2}}{R_b-0.707C_b}=0.5\sim0.6$ 对于圆形毛坯 $m_1=\dfrac{R_{yn-2}}{0.5(D-C_a)-0.707C_b}=0.5\sim0.6$

例 5-7　确定图 5-26 所示的高矩形件工序件的尺寸和形状。材料为 08F 钢，厚度为 1mm。

（1）检查相对厚度　圆角半径和相对高度分别为

$(t/B)\times100=(1/45)\times100=2.22>2$

$R=8\text{mm}>6t$

$H=1.08H_0=1.08\times35\text{mm}=37.8\text{mm}$，取 38mm

$H/B=38/45=0.84$

查表 5-26，可知该制件大约需两次拉深成形，可采用第一种方法。

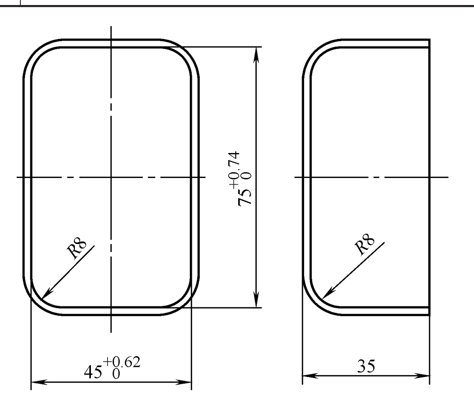


图 5-26　高矩形件



（2）计算毛坯直径 D

$$D=1.13\sqrt{B^2+4B(H-0.43r)-1.72r(H+0.33r)}$$
$$=1.13\times\sqrt{45^2+4\times45\times(38-0.43\times8)-1.72\times8\times(38+0.33\times8)}\text{mm}$$
$$=99.07\text{mm}，取 D=99\text{mm}$$

$$L=D+(A-B)=99\text{mm}+(75-45)\text{mm}=129\text{mm}$$

$$K=\frac{D(B-2r)+[B+2(H-0.43r_d)](A-B)}{A-2r}$$
$$=\frac{99\times(45-2\times8)\text{mm}+[45+2\times(38-0.43\times8)]\times(75-45)\text{mm}}{75-2\times8}$$
$$=106.68\text{mm}，取 K=106.7\text{mm}$$

$$R_b=0.5D=0.5\times99\text{mm}=49.5\text{mm}$$

$$R_a=\frac{0.25(L^2+K^2)-LR_b}{K-2R_b}$$

$$=\frac{0.25\times(129^2+106.7^2)\text{mm}-129\times49.5\text{mm}}{106.7-2\times49.5}=80.6\text{mm}$$

（3）计算 $n-1$ 次工序件尺寸

$$x_1=\frac{K-B}{L-A}=\frac{106.7-45}{129-75}=1.14$$

$r/B=8/45=0.18$，查图 5-19

$b_n=8.8t=8.8\times1\text{mm}=8.8\text{mm}$

$a_n=x_1\cdot b_n=1.14\times8.8\text{mm}=10\text{mm}$

$\delta=b_n+0.41r-0.207B$

$=8.8\text{mm}+0.41\times8\text{mm}-0.207\times45\text{mm}=2.76\text{mm}$

$A_{n-1}=A+2b_n=75\text{mm}+2\times8.8\text{mm}=92.6\text{mm}$

$B_{n-1}=B+2a_n=45\text{mm}+2\times10\text{mm}=65\text{mm}$

$R_{bn-1}=0.5B+b_n=0.5\times45\text{mm}+8.8\text{mm}=31.3\text{mm}$

$$R_{an-1}=\frac{0.25(A_{n-1}^2+B_{n-1}^2)-A_{n-1}R_{bn-1}}{B_{n-1}+2R_{bn-1}}$$

$$=\frac{0.25\times(92.6^2+65^2)\text{mm}-92.6\times31.3\text{mm}}{65-2\times31.3}=125.8\text{mm}$$

$H_{n-1}\approx0.88H=0.88\times38\text{mm}=33.5\text{mm}$

（4）检查 R_b 与 R_{bn-1} 的关系　因初步估计需两次拉深成形，所以 $R_{bn-1}=R_{b1}$

$(t/D)\times100=(1/106.7)\times100=0.94$，$r/B=8/45=0.18$

查表 5-24　$m_1=0.36$

$m=R_{bn-1}/R_b=R_{b1}/R_b=31.3/49.5=0.63>0.36$

所以该制件两次拉深成形是可行的，工序如图 5-27 所示。

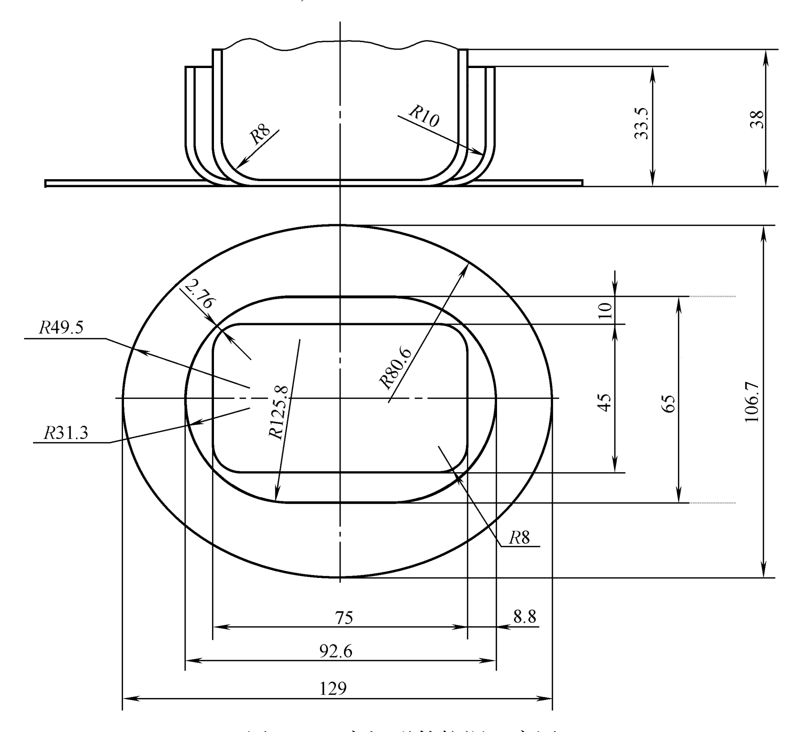


图 5-27　高矩形件拉深工序图

第四节　带料连续拉深

在成批或大量生产中，对于外形尺寸在50mm以下，材料厚度在0.1～2mm以内，尤其是直径在5mm以下的小零件，可在带料上进行连续拉深，在最后成形时和带料分离，这一方法称为带料连续拉深。

由于带料连续拉深中不能进行中间退火，因而必须采用塑性好的材料：如纯铜、H62、H68黄铜、纯铝、铝合金、08F、10F、镍、可伐合金Ni29Co18等。

一、连续拉深工艺和应用

带料连续拉深分整带料拉深和有工艺切口拉深两种，其应用见表5-30，带料连续拉深毛坯直径、带料宽度及步距的计算公式见表5-31，带料连续拉深的修边余量见表5-32，带料连续拉深的搭边（切口）和侧搭边见表5-33，带料连续拉深系数 K_1 和 K_2 见表5-34。

表5-30　带料连续拉深的分类及应用范围

序号	拉深方法	图示	应用范围	优、缺点
1	整带料拉深		$H/d \leqslant 2.5$，$d_t/d \leqslant 1.5$ 或 $d_t/d < 3$ 的塑性好的小型制件，或 $d > 10$mm，$H < 10$mm 的浅拉深件	1）拉深时，相邻两个拉深工序件之间互相牵制，材料在纵向流动困难 2）拉深系数比单工序要大，拉深工序数增多 3）节省材料，尤其适合贵金属拉深
2	a型切口拉深		$t < 1$mm，$d > 5$mm 的浅拉深件	1）首次拉深，毛坯拉入凹模时会使侧搭边弯曲、起皱 2）妨碍送料
3	b型切口拉深		$t > 0.5$mm，$d_t/d > 1.5 \sim 2.5$，$H/d > 2$ 的制件	1）不易起皱 2）拉深过程中带料宽度缩小，不能用来定位 3）较为费料
4	c型切口拉深		$t < 0.5$mm，质量要求高，用导正销精定位的大量生产的制件	1）拉深过程中带料宽度、步距不变 2）可用导正销精定位 3）费料
5	d型切口拉深		用于矩形件拉深	1）拉深时材料横向流动困难 2）拉深系数比单工序要大，拉深工序要增多 3）带料宽度不变
6	e型切口拉深		用于 $t < 0.6$mm 的矩形件拉深	

（续）

序号	拉深方法	图示	应用范围	优、缺点
7	f 型切口拉深	s	用于 $t<0.6$mm 单排或双排的单头焊片	1）由于切口部分材料向拉深工序中心流动困难，所以拉深工序中心要内移 2）拉深时带料宽度不变
8	g 型切口拉深	s	用于双排或多排筒形件的连续拉深（如双头空心铆钉）	1）中间压筋后，消除了两筒形间产生开裂的现象 2）保证两筒形中心距不变

表 5-31　带料连续拉深毛坯直径、料宽及步距的计算公式

序号	拉深方法	图示	计算公式
1	整带料拉深	D B s b_1	毛坯直径 $D=D_1+b$ 带料宽度 $B=D+2b_1$ 步距 $S=(0.8\sim0.9)D$
2	a 型切口拉深	n D b_2 B K s	毛坯直径 $D=D_1+b$ 带料宽度 $B=D+2b_2$ 步距 $S=D+n$ $K=(0.5\sim0.7)D$
3	b 型切口拉深	D C B s n b_2	毛坯直径 $D=D_1K_1$ 带料宽度 $B=C+2b_2$ 切口宽度 $C=DK_2$ 步距 $S=D+n$
4	c 型切口拉深	n b_3 b_2 D B s	毛坯直径 $D=D_1+b$ 带料宽度 $B=D+2b_3+2b_2$ $b_3=0.75\sim1.25$mm $n=2\sim2.5$mm 步距 $S=D+2b_3+n$

注：D_1——未考虑修边余量的毛坯直径（mm）；

b_1、b_2——侧搭边（mm），查表 5-33；

n——搭边（切口）宽度（mm），查表 5-33；

b——修边余量（mm），查表 5-32；

K_1、K_2——系数，查表 5-34。

表 5-32　带料连续拉深的修边余量 b　　（单位：mm）

毛坯计算直径 D	材料厚度 t								
	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0
≤10	1.0	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	—	—	—
10～30	1.2	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	—	—
30～50	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.5
>50	—	—	2.0	2.2	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5

表 5-33　带料连续拉深的搭边（切口）和侧搭边

（单位：mm）

毛坯直径 D	搭边(切口)宽度 n	侧搭边宽度	
		整带料拉深 b_1	有工艺切口拉深 b_2
<10	1.0～1.5	1.0～1.5	1.5～2.0
10～30	1.5～2.0	1.5～2.0	2.0～2.5
>30	2.0～2.5	2.0～2.5	2.5～3.0

表 5-34　带料连续拉深的系数 K_1 和 K_2

材料厚度 t/mm	<1.0	1.0～1.5	>1.5
K_1	1.10	1.07	1.05
K_2	1.07～1.10	1.04～1.07	1.02～1.04

1. 整带料连续拉深

整带料连续拉深可以看成是宽凸缘件的拉深，但由于相邻两个工序件之间变形时的互相牵制，材料在纵向流动较困难，因此拉深系数要取大些。带料连续拉深总拉深系数见表 5-35，整带料拉深系数见表 5-36，整带料首次拉深相对高度见表 5-37。

表 5-35　带料连续拉深总拉深系数 m_z

材　　料	抗拉强度极限 R_m/MPa	断后伸长率 $A\times100$	总拉深系数 m_z		
			不带顶件装置		带顶件装置
			$t\leqslant1.0$	$t=1\sim2$	
钢 08F、10F	300～400	28～40	0.40	0.32	0.16
黄钢 H62、H68	300～400	28～40	0.35	0.28	0.2～0.24
纯铝	80～110	22～25	0.38	0.30	0.18～0.24
不锈钢、镍带	400～550	20～40	0.42	0.36	0.26～0.32
精密合金	500～600	—	0.42	0.35	0.28～0.34

表 5-36　整带料拉深系数 m

拉深系数	材料相对厚度$\frac{t}{D}\times100$			拉深系数	材料相对厚度$\frac{t}{D}\times100$		
	>2	2～1	<1		>2	2～1	<1
m_1	0.68	0.70	0.72	m_4	0.86	0.87	0.90
m_2	0.80	0.82	0.85	m_5	0.87	0.89	0.92
m_3	0.82	0.84	0.87	m_6	0.90	0.92	0.95

2. 有工艺切口的连续拉深

有工艺切口的连续拉深是在两拉深工序件相邻处切口，但两侧仍有搭边连接，所以变形较单个工序件拉深要困难些，但比整带料拉深要好些。带料切口首次拉深系数见表 5-38，带料切口首次拉深相对高度见表 5-39，带料切口以后各次拉深系数见表 5-40，带料切口拉深系数也可从表 5-41 中选用。

表 5-37　整带料首次拉深相对高度 h_1/d_1

凸缘相对直径 d_t/d	材料相对厚度$\frac{t}{D}\times100$		
	>2	2～1	<1
1.3	0.45	0.40	0.35
2.5	0.40	0.36	0.32
2.0	0.35	0.32	0.30

表 5-38　带料切口首次拉深系数 m_1

凸缘相对直径 d_t/d	材料相对厚度$\frac{t}{D}\times100$		
	<1	>1～1.5	>1.5
1.1	0.60	0.58	0.55
1.5	0.55	0.53	0.51
2.0	0.46	0.44	0.42
2.5	0.38	0.38	0.38

表 5-39　带料切口首次拉深相对高度 h_1/d_1

凸缘相对直径 d_t/d	材料相对厚度$\frac{t}{D}\times100$		
	>2	2~1	<1
1.1	0.75~0.60	0.65~0.50	0.60~0.48
1.5	0.60~0.48	0.52~0.40	0.48~0.38
2.0	0.45~0.38	0.40~0.32	0.34~0.28
2.5	0.32~0.26	0.30~0.24	0.26~0.20

表 5-40　带料切口以后各次拉深系数 m_n

以后各次拉深系数	材料相对厚度$\frac{t}{D}\times100$		
	>2	2~1	<1
m_2	0.75	0.76	0.78
m_3	0.78	0.79	0.80
m_4	0.80	0.81	0.82
m_5	0.82	0.84	0.85

表 5-41　带料切口拉深系数

序号	材料	首次拉深 m_1	以后各次拉深 m_n	总拉深系数 m_z
1	拉深钢	0.55~0.60	0.75~0.80	0.16
2	不锈钢	0.50~0.55	0.80~0.85	0.26
3	镀锌钢	0.58~0.65	0.88	0.28
4	纯 铜	0.55~0.60	0.85	0.20~0.24
5	黄 铜	0.50~0.55	0.75~0.80	0.20~0.24
6	锌	0.65~0.70	0.85~0.90	0.32
7	纯 铝	0.53~0.60	0.80	0.18~0.22
8	铝合金	0.55~0.60	0.90	0.24

3. 带料连续拉深凸、凹模圆角半径

带料连续拉深凹模圆角半径比普通拉深模小，凸、凹模圆角半径随着工序的增加而逐渐减小，原则上最后一道拉深凸、凹模的圆角半径应取等于制件的圆角半径 R。当制件的圆角半径太小时，可增加一道整形工序。凹模圆角半径采用简易计算法时见表 5-42，否则采用表 5-43 中的计算公式。凸模圆角半径可采用稍大于或等于凹模圆角半径。

表 5-42　凹模圆角半径 R_d

拉深次数	计　算　公　式
最后一次拉深	$R_{dn}=R$
倒数第二次拉深	$R_{dn-1}=(1.1\sim1.4R_{dn})$
倒数第三次拉深	$R_{dn-2}=(1.1\sim1.4)R_{dn-1}$
以此类推	
正数第一次拉深	$R_{d1}=(1.1\sim1.4)R_{d2}$

注：R——制件圆角半径。
　R_{dn}——正数第 n 次拉深。

表 5-43　凹模圆角半径 R_d

材料厚度	首次拉深凹模圆角半径	以后各次拉深凹模圆角半径
0.1~0.2	(8~12) t	$R_{dn}=(0.7\sim0.8)R_{dn-1}$
0.2~0.5	(5~10) t	$R_{dn}=(0.7\sim0.8)R_{dn-1}$
0.5~1.0	(3~6) t	$R_{dn}=(0.6\sim0.8)R_{dn-1}$
1.0~2.0	(1.5~4) t	$R_{dn}=(0.6\sim0.8)R_{dn-1}$

4. 整带料拉深简易计算法

对于塑性好的 $d<6$mm，$H/d\leqslant2.5$ 的有色金属制件，或 $d<2$mm 的拉深钢带常采用整带料拉深简易计算法进行工艺计算，其计算方法见表 5-44。

表 5-44　整带料拉深简易计算法

计算参数	计算公式	计算参数	计算公式
某次拉深凸模直径	$d=d_0+0.1a^2$	带料宽度	$B=d_1+(1.2\sim1.5)b_1$
某次拉深制件高度	$H=H_0(1-0.05a)$	送料步距	$S=(1\sim1.2)d_1$

注：d_0——制件内径（mm）；
　d_1——首次拉深外径（mm）；
　H_0——制件高度（mm）；
　b_1——侧搭边（mm），查表 5-33；
　a——系数，n 次拉深时 $a=0$，$n-1$ 次拉深时，$a=1$，$n-2$ 次拉深时，$a=2$，以此类推，计算到 $h/d\leqslant0.5$ 为止。

二、整带料拉深

整带料拉深工艺方法一般有两种：

1. $d>10\text{mm}$，$H/d<1$ 的浅拉深件工艺计算实例

例 5-8　如图 5-28 所示制件，采用整带料拉深，试进行工艺计算。

（1）计算毛坯直径　根据表 5-4 序号 20 公式

$$D_1 = \sqrt{d_4^2 + 4d_2H - 3.44rd_2}$$
$$= \sqrt{18^2 + 4\times13\times10 - 3.44\times1.5\times13}\text{mm}$$
$$= 27.9\text{mm}$$

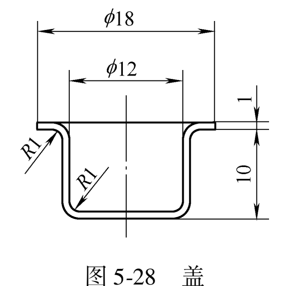


图 5-28　盖

查表 5-32 得 $b=2.2$，实际毛坯直径

$D=D_1+b=27.9\text{mm}+2.2\text{mm}=30.1\text{mm}$，取 30mm

（2）确定是否可以连续拉深　计算总拉深系数 m_z

$$m_z = d/D = 13/30 = 0.43$$

查表 5-35 $[m_z]=0.16$，所以可以进行连续拉深。

（3）确定是否需要工艺切口

$$\frac{t}{D}\times100 = \frac{1}{30}\times100 = 3.33$$

$$\frac{d_t}{d} = \frac{18}{13} = 1.38$$

$$\frac{h}{d} = \frac{10}{13} = 0.77$$

$$d>10\text{mm},\quad h=10\text{mm}$$

查表 5-30，可以用整带料拉深。

（4）确定条料宽度与步距　根据表 5-31 序号 1

$$B = D + 2b_1 = 30\text{mm} + 4\text{mm} = 34\text{mm}$$
$$S = (0.8\sim0.9)D = 25\text{mm}$$

（5）计算各工序件直径　根据 $(t/D)\times100=3.33$，查表 5-36，由于 3.33 远大于 2，故拉深系数可适当取小于表中数值

$$m_1=0.66\quad m_2=0.78\quad m_3=0.80\quad m_4=0.84$$
$$d_1 = m_1D = 0.66\times30\text{mm} = 19.8\text{mm}$$
$$d_2 = m_2d_1 = 0.78\times19.8\text{mm} = 15.5\text{mm}$$
$$d_3 = m_3d_2 = 0.8\times15.5\text{mm} = 12.4\text{mm}$$
$$d_3 = 12.4\text{mm} < 13\text{mm}$$

所以三次可以拉深成形。调整拉深系数（调整拉深直径）

$$m_1=0.668\ (d_1=20\text{mm}),\ m_2=0.8,\ m_3=0.813\ (d_3=13\text{mm})$$
$$d_1 = m_1D = 0.668\times30\text{mm} = 20\text{mm}$$
$$d_2 = m_2d_1 = 0.8\times20\text{mm} = 16\text{mm}$$
$$d_3 = m_3d_2 = 0.813\times16\text{mm} = 13\text{mm}$$

（6）确定凸、凹模圆角半径　查表 5-43

$$R_{d1} = (1.5\sim4)t = 2.6\text{mm}$$
$$R_{d2} = (0.6\sim0.8)R_{d1} = 1.8\text{mm}$$
$$R_{d3} = R = 1\text{mm}$$

取凸模圆角半径与凹模相等

$$R_{p1}=2.6\text{mm},\ R_{p2}=1.8\text{mm},\ R_{p3}=1\text{mm}$$

(7) 计算各工序件拉深高度　设第一次拉深时多拉入凹模的材料为材料面积的5%，原拉入凹模毛坯面积为

$$30^2\text{mm}^2-(18^2-16^2)\text{mm}^2=832\text{mm}^2$$

则假想毛坯直径

$$D_1'=\sqrt{68+832\times1.05}\text{mm}=30.6\text{mm}$$

计算最后一道工序件的实际凸缘直径

$$d_{t1}^2-d_t^2=D^2-D_1^2$$

$$d_{t1}=\sqrt{D^2-D_1^2+d_t^2}=\sqrt{30^2-27.9^2+18^2}\text{mm}=21.1\text{mm}$$

则第一次拉深高度按表5-19公式计算

$$\begin{aligned}H_1&=\frac{0.25}{d_1}(D_1'^2-d_{t1}^2)+0.43(r_1+R_1)\\&=\frac{0.25}{20}\times(30.6^2-21.1^2)\text{mm}+0.43\times(3.1+3.1)\text{mm}\\&=6.14\text{mm}+2.66\text{mm}\\&=8.8\text{mm}\end{aligned}$$

设第二次拉深时多拉入凹模的材料为材料面积的2%，其余返回到凸缘上，则假想毛坯直径

$$D_2'=\sqrt{68+832\times1.02}\text{mm}=30.3\text{mm}$$

$$\begin{aligned}H_2&=\frac{0.25}{d_2}(D_2'^2-d_{t2}^2)+0.43(r_2+R_2)\\&=\frac{0.25}{16}\times(30.3^2-21.1^2)\text{mm}+0.43\times(2.3+2.3)\text{mm}\\&=9.4\text{mm}\end{aligned}$$

$$H_3=10\text{mm}$$

(8) 校核第一次拉深的相对高度

根据$\frac{t}{D}\times100=3.33$，$\frac{d_t}{d}=\frac{21.1}{20}=1.06$

查表5-37，$\frac{h_1}{d_1}=0.45$

而$\frac{8.8}{20}=0.44<0.45$

所以上述计算是可行的。

(9) 绘制工序排样图(见图5-29)

2. 塑性好的 $d<6$mm，$H/d\leqslant2.5$ 的有色金属制件，或 $d<2$mm 的拉深钢带

对此类制件可采用表5-44所列出的简易计算法。

例5-9　如图5-30所示制件，采用整带料拉深，工艺计算见表5-45。

表5-45　整带料拉深简易计算

拉深次数	$d_n=d_0+0.1a^2$	$H_n=H(1-0.05a)$
10	$d_n=5\text{mm}+0.1\times0^2=5\text{mm}$	$H_n=9.6\times(1-0.05\times0)\text{mm}=9.6\text{mm}$
9	$d_{n-1}=5\text{mm}+0.1\times1^2=5.1\text{mm}$	$H_{n-1}=9.6\times(1-0.05\times1)\text{mm}=9.12\text{mm}$
8	$d_{n-2}=5\text{mm}+0.1\times2^2=5.4\text{mm}$	$H_{n-2}=9.6\times(1-0.05\times2)\text{mm}=8.64\text{mm}$

（续）

拉深次数	$d_n = d_0 + 0.1a^2$	$H_n = H(1-0.05a)$
7	$d_{n-3} = 5\text{mm} + 0.1 \times 3^2 = 5.9\text{mm}$	$H_{n-3} = 9.6 \times (1-0.05\times3)\text{mm} = 8.16\text{mm}$
6	$d_{n-4} = 5\text{mm} + 0.1 \times 4^2 = 6.6\text{mm}$	$H_{n-4} = 9.6 \times (1-0.05\times4)\text{mm} = 7.68\text{mm}$
5	$d_{n-5} = 5\text{mm} + 0.1 \times 5^2 = 7.5\text{mm}$	$H_{n-5} = 9.6 \times (1-0.05\times5)\text{mm} = 7.2\text{mm}$
4	$d_{n-6} = 5\text{mm} + 0.1 \times 6^2 = 8.6\text{mm}$	$H_{n-6} = 9.6 \times (1-0.05\times6)\text{mm} = 6.72\text{mm}$
3	$d_{n-7} = 5\text{mm} + 0.1 \times 7^2 = 9.9\text{mm}$	$H_{n-7} = 9.6 \times (1-0.05\times7)\text{mm} = 6.24\text{mm}$
2	$d_{n-8} = 5\text{mm} + 0.1 \times 8^2 = 11.4\text{mm}$	$H_{n-8} = 9.6 \times (1-0.05\times8)\text{mm} = 5.76\text{mm}$
1	$d_{n-9} = 5\text{mm} + 0.1 \times 9^2 = 13.1\text{mm}$	$H_{n-9} = 9.6 \times (1-0.05\times9)\text{mm} = 5.28\text{mm}$

$h_{n-9}/d_{n-9} = 5.28/13.1 = 0.4 < 0.5$，故计算到此结果，确定 $n=10$。

带料宽度

$B = d_1 + (1.2 \sim 1.5)b_1 = 13.9\text{mm} + 2.25\text{mm} = 16.15\text{mm}$，取 16.2mm

$$S = (1 \sim 1.2)d_1 = 1.1 \times 13.9\text{mm} = 15.3\text{mm}$$

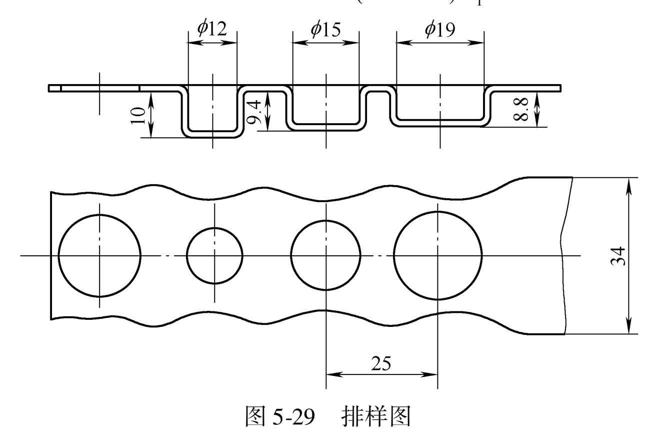


图 5-29　排样图

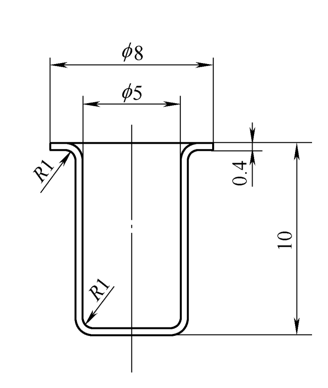


图 5-30　H68 管帽

拉深工序排样如图 5-31 所示。

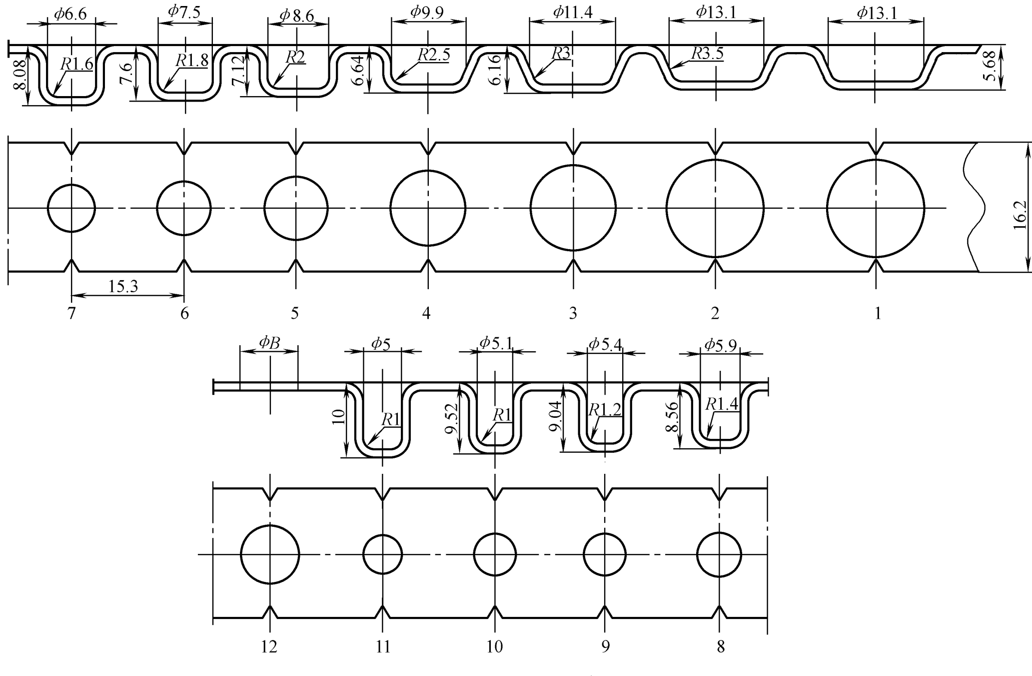


图 5-31　H68 管帽工序排样图

三、有工艺切口带料连续拉深

除上述条件用整带料拉深外，一般都采用有工艺切口拉深，其计算举例如下：

例 5-10　如图 5-32a 所示制件，材料为 10 钢，采用有工艺切口拉深。

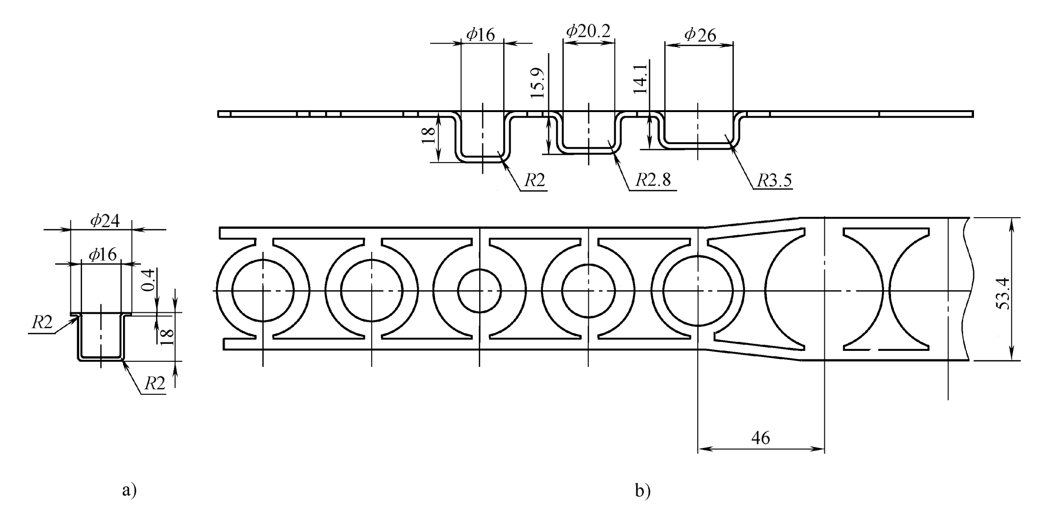


图 5-32　有工艺切口连续拉深

（1）计算毛坯直径　根据表 5-4 序号 20 公式

$$
\begin{aligned}
D_1 &= \sqrt{d_4^2 + 4d_2H - 3.44rd_2} \\
&= \sqrt{24^2 + 4 \times 16.4 \times 17.6 - 3.44 \times 2.2 \times 16.4}\text{mm} \\
&= 40\text{mm}
\end{aligned}
$$

根据表 5-31 序号 3 公式计算毛坯直径

$$D = D_1K_1 = 40\text{mm} \times 1.1 = 44\text{mm}$$

切槽宽度

$$C = DK_2 = 44\text{mm} \times (1.07 \sim 1.1) = 48\text{mm}$$

条料宽度

$$B = C + 2b_2 = 48\text{mm} + 2 \times 2.5\text{mm} = 53\text{mm}$$

步距

$$S = D + n = 44\text{mm} + 2\text{mm} = 46\text{mm}$$

（2）计算拉深次数和工序件直径

$$\frac{t}{D} \times 100 = \frac{0.4}{44} \times 100 = 0.91$$

暂设 $d_t/d_1 = 1.1$，查表 5-38 和表 5-40

$$m_1 = 0.60，m_2 = 0.78，m_3 = 0.8，m_4 = 0.82$$

$$d_1 = m_1D = 0.60 \times 44\text{mm} = 26.4\text{mm}$$

$$d_2 = m_2d_1 = 0.78 \times 26.4\text{mm} = 20.6\text{mm}$$

$$d_3 = m_3d_2 = 0.80 \times 20.6\text{mm} = 16.4\text{mm}$$

$d_3 = 16.4\text{mm}$，所以三次可拉深成形。

（3）确定凸、凹模圆角半径　查表 5-43

$$R_{d1} = (5 \sim 10)t = 3.5\text{mm}\quad R_{p1} = R_{d1} = 3.5\text{mm}$$

$$R_{d2} = R_{p2} = (0.7 \sim 0.8)R_{dn-1} = 2.8\text{mm}$$

$$R_{d3}=R_{p3}=R=2\text{mm}$$

(4) 计算各工序件拉深高度　设第一次拉入时多拉入凹模的材料为材料面积的 4%，原拉入凹模毛坯面积为

$$\frac{\pi}{4}\times44^2\text{mm}^2-\frac{\pi}{4}\times(24^2-20.8^2)\text{mm}^2=\frac{\pi}{4}\times(1936-143.4)\text{mm}^2$$
$$=\frac{\pi}{4}\times1792.6\text{mm}^2$$

则假想毛坯直径

$$\frac{\pi}{4}D_1'^2=\frac{\pi}{4}\times143.4\text{mm}^2+\frac{\pi}{4}\times1792.6\text{mm}^2\times1.04$$

$$D_1'=\sqrt{143.4+1792.6\times1.04}\text{mm}=44.8\text{mm}$$

计算最后一道工序件的实际凸缘直径

$$d_{t1}^2-d_t^2=D^2-D_1^2$$

$$d_{t1}=\sqrt{D^2-D_1^2+d_t^2}=\sqrt{44^2-40^2+24^2}\text{mm}=30\text{mm}$$

$$H_1=\frac{0.25}{d_1}(D_1'^2-d_{t1}^2)+0.43(r_1+R_1)$$
$$=\frac{0.25}{26.4}\times(44.8^2-30^2)\text{mm}+0.43\times(3.7+3.7)\text{mm}$$
$$=13.7\text{mm}$$

设第二次拉入时多拉入凹模的材料为材料面积的 2%，其余返回到凸缘上，则假想毛坯直径

$$D_2'=\sqrt{143.4+1792.6\times1.02}\text{mm}=44.4\text{mm}$$

$$H_2=\frac{0.25}{d_2}(D_2'^2-d_{t1}^2)+0.43(r_1+R_1)$$
$$=\frac{0.25}{20.6}\times(44.4^2-30^2)\text{mm}+0.43\times(3.0+3.0)\text{mm}$$
$$=15.6\text{mm}$$

$$H_3=17.6\text{mm}$$

(5) 绘制工序排样图(见图 5-32b)

四、带料连续拉深级进模设计要点

1. 模具结构的选择

带料连续拉深模中拉深凸模装在上模的称正拉深模，拉深凸模装在下模的叫反拉深模。当制件直径较小，且高度较小时一般采用正拉深模，正拉深模结构较反拉深模简单。当制件直径较大，尤其是高度较大时，为保证送料的稳定性，一般采用反拉深模。

2. 第一次拉深必须有独立的压料装置

切口和第一次拉深工序的压料装置必须和以后各工序的压料装置分开，因为首次拉深变形程度大，带料容易起皱，妨碍拉深正常进行。分开是为了压料力可进行调整，在不起皱的情况下尽量用小的压料力，以防止拉裂。

3. 以后各次拉深压料装置的采用

整带料拉深采用简易计算法时，除第一次拉深采用独立的压料装置防止带料起皱外，其余各次拉深采用活动压料装置，保证拉深开始时首先压住工序件凸缘，以改善塑性变形条件，但压力不宜太大，以免将工件压坏。

4. 拉深凸模和切口凸模长度的关系

第一次拉深凸模应比切口凸模长（2 ~3）倍材料厚度，以便拉深先进行。落料凸模必须将制件从凹模落料口中推出，并考虑适当修模量。

5. 带料的导正与导料板的选用

一般情况下，连续拉深模送料口一般采用固定式导料板对带料进行导向送进，因此，导料板必须有足够的厚度以便导向送料，由于拉深使带料的宽度变化，后面可不用导料板，导料经常靠自动送料装置实现导正。

对于带料的定距，各次拉深工序的凸模就能对带料自动找正定位。当然，对于带料宽度不变的可采用导料板或活动导料销在模具长度内对带料进行导向送进。

6. 凸、凹模结构的选择

凸模一般为整体式，凹模为了便于制造、调整、装拆和维修，必须采用嵌入式结构。

7. 空工位的安排

在首次拉深后为了嵌入方便一般都采用空工位，拉深工序较多时，宜在首次拉深和中间适当位置留空工序，以便必要时调整。

第五节　变 薄 拉 深

一、变薄拉深的特点

变薄拉深主要用来制造底部厚度不变，壁部变薄，高度增大的制件，变薄拉深过程主要是改变毛坯的壁厚，而毛坯的内径变化很小，拉深凸、凹模之间的间隙小于毛坯材料厚度，其变形过程如图 5-33 所示。

1）经过变薄拉深，使晶粒细化，从而提高制件强度。

2）壁厚偏差上下均匀一致，厚度偏差在 ± 0. 01mm 之内。

3）表面无划痕，表面粗糙度值可达 $Ra0.2 \sim 0.4\mu m$。

4）底部厚度不变，可保证与相关制件可靠连接。

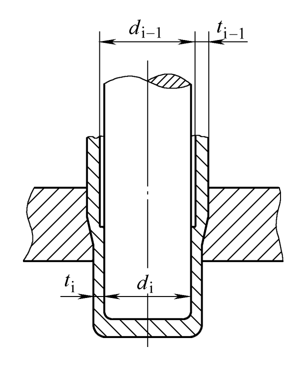


图 5-33　变薄拉深

常用于变薄拉深的材料有：纯铜、无氧铜、黄铜、磷青铜、白银、德银、纯铝、铝合金、低碳钢、不锈钢和可伐合金等。

二、变薄拉深工序计算程序

1. 毛坯材料厚度的确定

带底拉深件一般按其底厚选用，切底拉深件须充分考虑材料利用率，尽量选用较薄材料。

2. 毛坯直径的确定

根据变形前后毛坯材料体积不变的原则，毛坯直径为

$$D = 1.13\sqrt{\frac{KV_1}{t_0}} \tag{5-34}$$

式中　V_1——制件的体积（mm^3）；

t_0——毛坯厚度（mm）；

K——系数，考虑到修边余量，半成品退火烧损，材料厚度为负偏差等因素，一般取 1. 15 ~1. 20。

3. 变薄拉深的次数及各次变薄工序件毛坯的壁厚

1）变薄系数

$$\varphi_n = A_n / A_{n-1}$$

式中　A_n——n 次变薄拉深后制件的横截面积（mm^2）；

A_{n-1}——$n-1$ 次变薄拉深后制件的横截面积（mm^2）。

在变薄拉深中，制件内径基本不变，故可认为

$$\varphi_n \approx \frac{\pi d_n t_n}{\pi d_{n-1} t_{n-1}} \approx \frac{t_n}{t_{n-1}} \tag{5-35}$$

变薄拉深系数的极限值见表5-46。

表5-46　变薄拉深系数 φ 的极限值

材　　料	首次变薄拉深系数	中间工序变薄拉深系数	末次变薄拉深系数
纯铜、黄铜H62、H68	0.45～0.55	0.58～0.65	0.65～0.73
铝	0.50～0.60	0.62～0.68	0.72～0.77
低碳钢、拉深钢板	0.53～0.63	0.63～0.73	0.75～0.77
中碳钢（碳的质量分数0.25%～0.35%）	0.70～0.75	0.78～0.75	0.85～0.90
不锈钢	0.65～0.70	0.70～0.75	0.75～0.80

注：厚料取较小值，薄料取较大值。

2）各道工序件毛坯壁厚

$$t_1 = t_0 \varphi_1$$
$$t_2 = t_1 \varphi_2$$
$$\vdots$$
$$t_n = t_{n-1} \varphi_n \tag{5-36}$$

式中　t_0——毛坯厚度（mm）；

t_1、t_2、…、t_{n-1}——中间各次工序件壁厚（mm）；

t_n——制件壁厚（mm）；

φ_1——首次变薄系数；

φ_n——末次变薄系数。

3）为了使凸模能顺利地伸进上道工序件中，其直径应比毛坯内径小1%～3%（开始变薄取大值，以后变薄逐渐取小值，壁厚取大值，壁薄取小值），即

$$d_{n-1} = d_n(1 + 0.01 \sim 0.03) \tag{5-37}$$
$$d_{n-2} = d_{n-1}(1 + 0.01 \sim 0.03)$$
$$\vdots$$
$$d_1 = d_2(1 + 0.01 \sim 0.03) \tag{5-38}$$

式中　d_n——最后工序凸模直径（mm），其余为各工序凸模直径。

4）确定各次变薄工序件的拉深件高度。各工序件的高度可按体积不变的原则确定，如不考虑变薄拉深底部圆角半径，则

$$H_n = \frac{t_0(D^2 - d_0^2)}{2t_n(d_0 + d_n)} \tag{5-39}$$

式中　t_0——毛坯厚度（mm）；

D——毛坯直径（mm）；

d_0——该工序件毛坯外径（mm）；

d_n——该工序件毛坯的内径（mm）；

t_n——该工序件毛坯的壁厚（mm）；

H_n——该工序件毛坯高度（mm）。

三、变薄拉深模设计要点

1. 模具结构的选择

在大批量生产中，变薄拉深各工序宜采用单一结构模具，否则会延长生产周期。在小批量生产时，采用通用模架是比较经济的。

2. 凹模设计

根据各工序尺寸、各工序间制件的变形，选择采用单一凹模还是阶梯凹模（两层或三层）是重要问题，前者制模精度容易保证，但制件集中变形容易产生问题，后者各凹模同轴度、平行度要求高，会增加制造成本，但是分段变形，制件质量容易保证。一般塑性较好的制件可选用单一凹模。凹模的几何形状如图 5-34 所示，凹模几何参数见表 5-47。

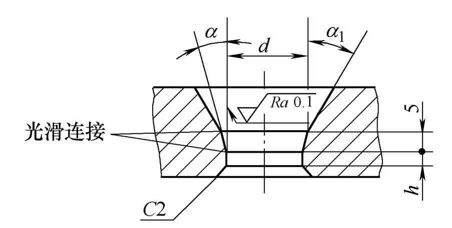


图 5-34　变薄拉深凹模的几何形状

表 5-47　变薄拉深凹模的几何参数

d	≤10	10～20	20～30	30～50	50
h	0.9	1	1.5～2	2～2.5	2.5～3
α	6°～10°				
α_1	10°～30°				

对于凹模材料，大批量生产时用 YG8～YG15，成批生产时用 CrWMn、Cr12MoV 工作部分表面粗糙度值为 Ra0.05～0.2μm，阶梯凹模的变形量（即两工序间的壁厚减薄量）分配为：在两层凹模时，上模占 20%～25%，下模占 75%～80%；三层凹模时，上模占 20%～25%，中模占 30%～35%，下模占 40%～50%。

3. 凸模设计

凸模几何参数如图 5-35 所示，制件较长，采用液压设备拉深时宜采用浮动形式，便于与凹模自动找正。凸模沿制件脱模方向，宜带 0.02∶500 锥度，便于制件脱模。凸模材料可选用 T10A、CrWMn。工作部分表面粗糙度值为 Ra0.05～0.2μm，并沿轴向研光。

在变薄拉深材料为 12Cr18Ni9Ti 的制件时，制件会紧紧地包在凸模上，故不宜用刮料圈卸料，应在凸模上加一油嘴，借液压卸下制件。在凸模油嘴接头处接上三通阀，一头通油、一头通空气，在套坯件时通气断油，拉深时进油断气。卸件应在拉深结束时立即进行，否则制件冷却后，卡得更紧，不易卸下来。液压可用手动液压泵，这样可以控制压力大小，开始压力大些，松脱后应减压，否则制件颈部会出现胀形。如液压仍无法卸料，可先在坯料内部涂擦硬脂酸锌再用液压卸料。

例 5-11　加工如图 5-36 所示制件，采用变薄拉深。

（1）计算拉深件体积

$$V_1 = \frac{\pi}{4}(d_0^2 H - d_n^2 h)$$

$$= \frac{3.14}{4} \times (25^2 \times 79 - 24^2 \times 75)\text{mm}^3$$

$$= 4847\text{mm}^3$$

（2）计算毛坯体积

$$V = 1.15V_1 = 1.15 \times 4847\text{mm}^3 = 5574\text{mm}^3$$

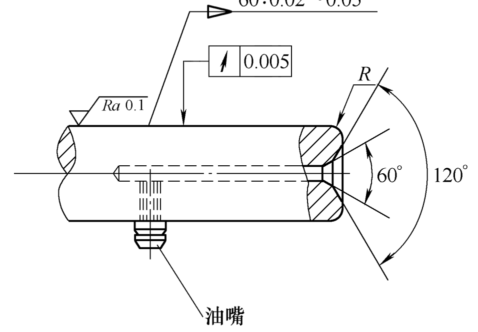


图 5-35　变薄拉深凸模几何形状

(3) 毛坯厚度等于圆筒形件底的厚度　$t_0=4\text{mm}$

(4) 计算毛坯直径

$$D = 1.13\sqrt{\frac{KV_1}{t_0}} = 1.13\sqrt{\frac{1.15\times4847}{4}}\text{mm} = 42\text{mm}$$

经试模修正后取41.5mm。

(5) 计算拉深次数及每次拉深材料厚度　见表5-48，根据表5-46取变薄拉深系数φ

$$\varphi_1=0.63\quad \varphi_{n-1}=0.72\quad \varphi_n=0.75$$

(6) 计算出各次拉深的内、外径(见表5-49)。

表5-48　拉深次数及每次拉深材料壁厚

拉深次数	拉深前材料厚度 t/mm	变薄系数 φ	变薄拉深后材料厚度 t/mm
1	4.0	0.63	4×0.63=2.5
2	2.5	0.72	2.5×0.72=1.8
3	1.8	0.72	1.8×0.72=1.3
4	1.3	0.72	1.3×0.72=0.94
5	0.94	0.72	0.94×0.72=0.68
6	0.68	0.75	0.68×0.75=0.5

表5-49　变薄拉深各次拉深的内、外径

(单位：mm)

拉深次数	内　　径	壁厚 t	外径
6	$d_6=24$	0.5	25
5	$d_5=d_6(1+0.01\sim0.03)=24.25$	0.68	25.61
4	$d_4=d_5(1+0.01\sim0.03)=24.5$	0.94	26.38
3	$d_3=d_4(1+0.01\sim0.03)=24.75$	1.3	27.35
2	$d_2=d_1(1+0.01\sim0.03)=25$	1.8	28.60
1	$d_1=d_2(1+0.01\sim0.03)=25.25$	2.5	30.25

(7) 计算各次变薄拉深工序件高度　根据公式(5-39)进行计算，计算过程见表5-50。

表5-50　各次变薄拉深工序件高度

拉深次数	每次变薄拉深工序件高度 $H_n=\frac{t_0(D^2-d_0^2)}{2t_n(d_0-d_n)}$	拉深次数	每次变薄拉深工序件高度 $H_n=\frac{t_0(D^2-d_0^2)}{2t_n(d_0-d_n)}$
1	$H_1=\frac{4\times(41.5^2-30.25^2)}{2\times2.5\times(30.25+25.25)}\text{mm}=11.6\text{mm}$	4	$H_4=\frac{4\times(41.5^2-26.38^2)}{2\times0.94\times(26.38+24.5)}\text{mm}=42.9\text{mm}$
2	$H_2=\frac{4\times(41.5^2-28.6^2)}{2\times1.8\times(28.6+25)}\text{mm}=18.7\text{mm}$	5	$H_5=\frac{4\times(41.5^2-25.61^2)}{2\times0.68\times(25.61+24.25)}\text{mm}=62.9\text{mm}$
3	$H_3=\frac{4\times(41.5^2-27.35^2)}{2\times1.3\times(27.35+24.75)}\text{mm}=28.8\text{mm}$	6	$H_6=\frac{4\times(41.5^2-25^2)}{2\times0.5\times(25+24)}\text{mm}=89.6\text{mm}$

4. 变薄拉深模

图5-37所示是变薄拉深模通用模架。

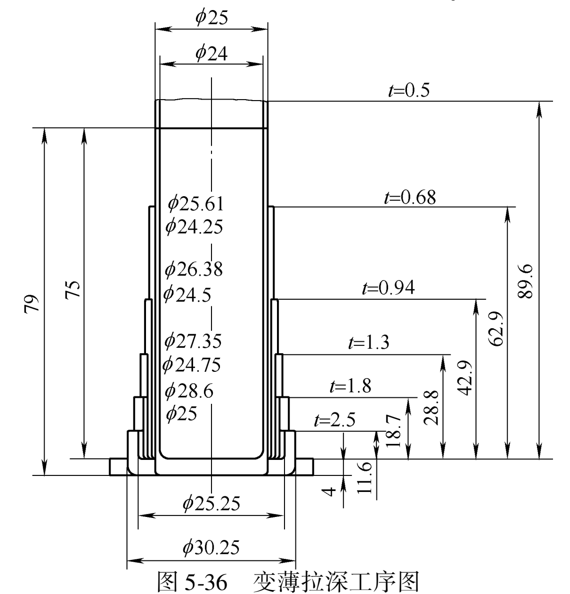


图5-36　变薄拉深工序图

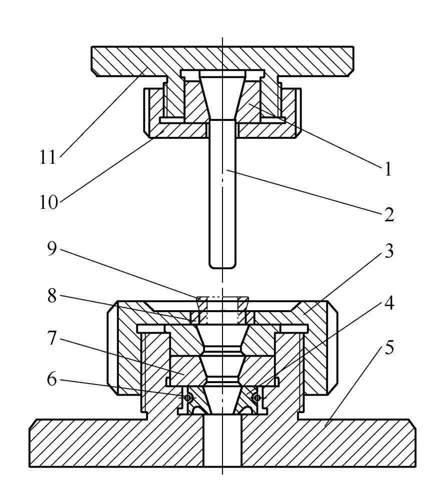


图5-37　是变薄拉深模通用模架

1—压圈　2—凸模　3—紧固压紧套　4—卸料圈　5—下模座　6—拉簧　7—凹模　8—定位圈　9—校模圈　10—紧固压紧套　11—上模座

图 5-38 是旋转变薄拉深模示意图。旋转拉深的基本过程是：管坯套在凸模上，钢球套在凹模中，凹模（或凸模）装在机床主轴上并随主轴旋转，凸模（或凹模）装在机床滑板上并随滑板进给，管坯与钢球的相对转动及移动加之钢球本身的自转，迫使材料逐点产生塑性流动并变薄。

为保证凸、凹模有较高的同轴度，凸模是浮动的，凸模可在调心球轴承内在任何方向摆动，以补偿机床、模具制造、安装等因素造成的同轴度误差。凸模公称尺寸 d_p 等于管坯内径 d，圆角半径略大于管坯圆角。凹模由凹模圈及垫圈组合而成，用不同厚度的垫圈即可组成多组凹模。凹模圈内孔基本直径计算式为

$$d_d = d_p + 2d + 2t - \Delta \quad (5\text{-}40)$$

式中　d_d——凹模圈内径（mm）；

d_p——凸模基本直径（mm）；

d——钢球直径（mm）；

t——旋压后管子的壁厚（mm）；

Δ——材料回弹量（mm）。

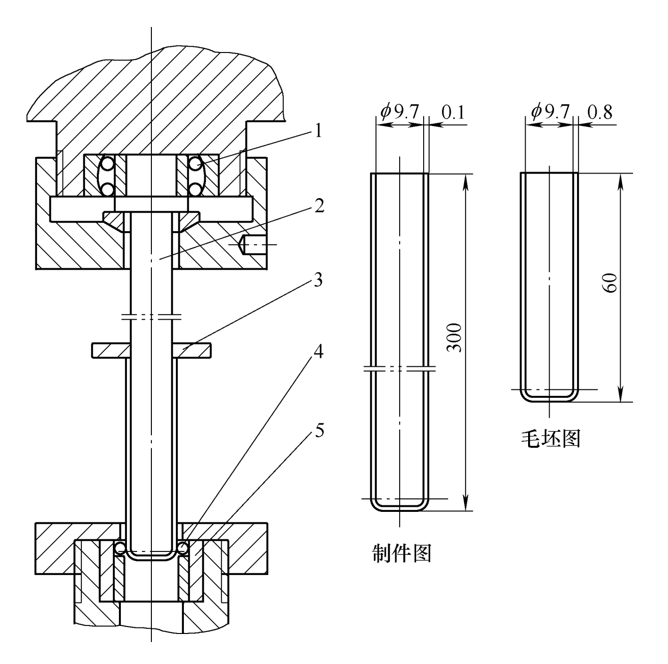


图 5-38　旋转变薄拉深模示意图

1—轴承　2—凸模　3—卸料板　4—钢珠　5—凹模

垫圈外径 d_1 略小于凹模圈的内径 d_d，垫圈的内径 d_2 计算式为

$$d_2 = d_p + 2t + K \quad (5\text{-}41)$$

式中　K——间隙（mm），一般取 1 ~ 2mm。

第六节　其他类型制件的拉深

一、阶梯形制件的拉深

1）由于阶梯形拉深制件的多样性和复杂性，是不能用统一的方法确定工艺程序的。首先要解决的是需要一道或需几道工序拉深成形。

对于圆筒形的阶梯形拉深制件，可用拉深件高度与其最小直径之比 h/d，从表 5-14 中查出近似的拉深次数。

如图 5-39 所示的阶梯形拉深制件，毛坯直径为 ϕ107mm，毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100 = (1.5/107) \times 100 = 1.4$，$h/d = 28/47.5 \approx 0.6$，查表 5-14 可知，该拉深件可以一次拉深成形。

2）阶梯形制件多次拉深的方法

①　当任意两相邻阶梯直径之比 d_n/d_{n-1} 都不小于相应的圆筒形的极限拉深系数，或小于极限拉深系数，但接近极限拉深系数，其拉深方法为：由大阶梯到小阶梯依次拉深成形，如图 5-40a 所示，这时拉深次数等于阶梯数目与最大阶梯成形之前的拉深次数之和。

②　如果任意相邻两阶梯直径之比 d_n/d_{n-1} 比相应的圆筒形件的极限拉深系数小的较多，则由直径

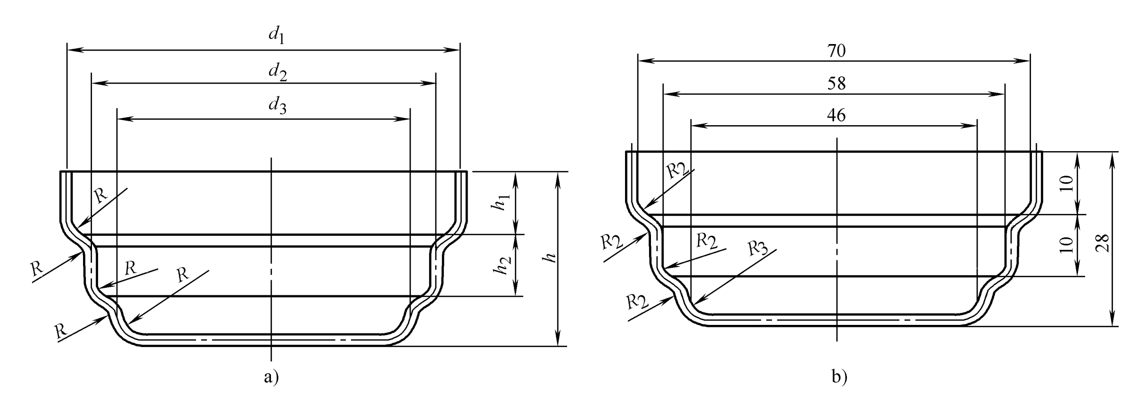


图 5-39　阶梯形拉深件

a）阶梯形制件　b）阶梯形制件拉深实例

d_{n-1}到 d_n 按凸缘件的拉深方法进行拉深，最后将凸缘拉深成最大直径阶梯形，如图 5-40b 所示。

二、锥形制件的拉深

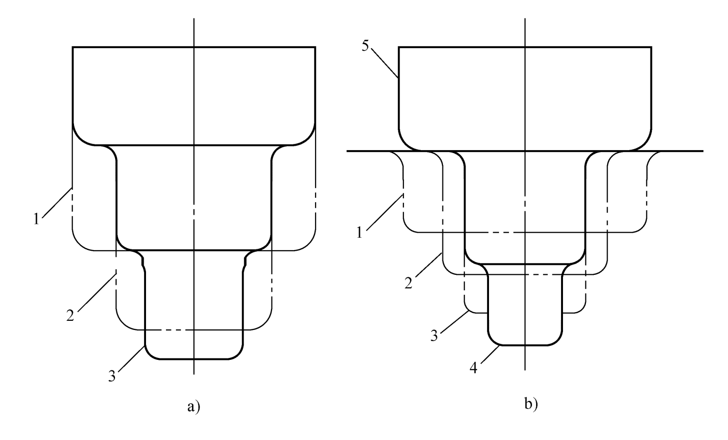


图 5-40　阶梯形制件多次拉深方法

图 5-41 所示为锥形制件，根据锥形制件的相对高度 h/d、锥角 α、毛坯相对厚度（t/D）×100 的不同，拉深方法可分为以下三类：

1. $h/d=0.25\sim0.3$ 的浅锥形制件

这类制件可以用有压边圈的拉深模一次拉深成形，但当 α 较大时，回弹现象严重，通常采用下列三种措施解决：

1）无凸缘的可增加凸缘，待拉深成形后将其切除。

2）采用带拉深肋的凹模拉深，如图 5-42 所示。

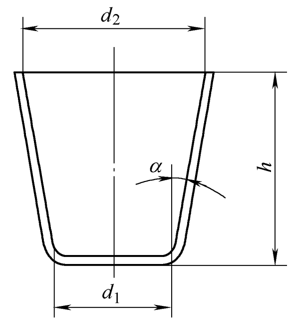


图 5-41　锥形制件拉深

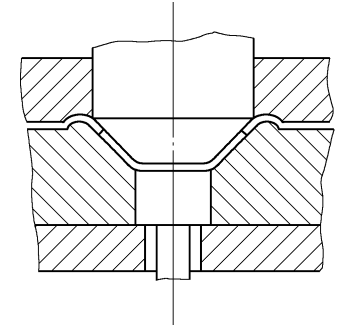


图 5-42　浅锥形制件拉深肋凹模拉深模

3）用聚氨酯橡胶拉深模或液压拉深模。

2. $h/d=0.3\sim0.7$ 的中等深度的锥形制件

这类制件根据（t/D）×100 可分三类。

1）对于材料相对厚度（t/D）×100 > 2.5 的锥形制件，可以用没有压边圈的模具一次拉深成形，但需要在工作行程终了时，对拉深制件进行整形，如图 5-43 所示。

2）对于材料相对厚度（t/D）$\times 100 = 1.5 \sim 2$ 的锥形制件，可以用有压边圈的拉深模一次拉深成形，对于无凸缘的锥形制件应按有凸缘的拉深，然后再修边，如图5-44所示。

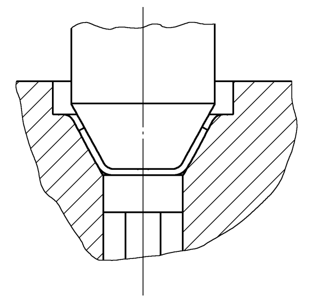


图5-43　锥形制件无压边圈拉深模

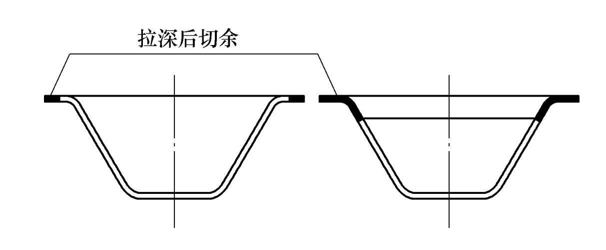


图5-44　锥形制件拉深方法

3）对于材料相对厚度（t/D）$\times 100 < 1.5$ 或带有宽凸缘的锥形制件，需采用压边圈进行二次或三次拉深，一般可采用两种方法。

①　由近似形状压成锥形。近似形状的面积等于成品制件的面积，然后压成所要求的形状，见图5-45，为了防止侧壁起皱，近似形状和凸缘的连接处要成圆筒形，下道工序在凸缘不变的情况下成形。这种方法适合大端与小端直径相差较大的锥形制件。

②　由圆筒形再拉深成锥形，前一、二道拉深成无凸缘或有凸缘的圆筒形毛坯，最后再拉深成锥形，如图5-46所示。

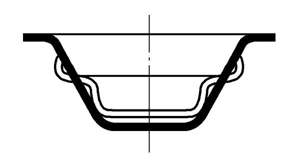


图5-45　由近似形状压成锥形

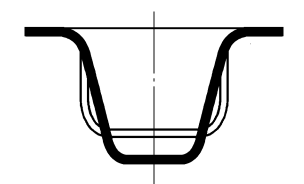


图5-46　由圆筒形拉深成锥形

3. $h/d > 0.8$ 的深锥形制件

此类制件需进行多次拉深，其拉深方法有三种。

(1) 阶梯过渡法　先逐步拉成具有大圆角半径的阶梯形工序件，阶梯形与制件内形相切，最后整形成锥形件，如图5-47所示。此方法的缺点是制件壁厚不均匀，表面有明显印痕，故应用较少。

(2) 上锥面逐步增大法　是指用底部直径逐步缩小，而上面锥面逐步扩大的方法成形，采用此方法所得制件表面质量较好，因而应用较多，如图5-48所示。

(3) 整个锥面一次成形法　先将毛坯拉成圆筒形，然后锥面从底部开始成形，在各道工序中，锥面逐步增大，直至最后锥面一次成形，如图5-49所示。采用此方法所得制件表面质量好。这种拉深法的拉深系数采用平均直径来计算，即大端直径和小端直径之和的1/2来计算，即

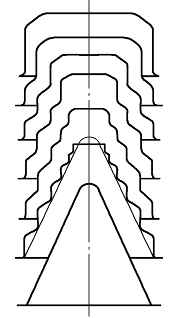


图5-47　锥形制件阶梯过渡法

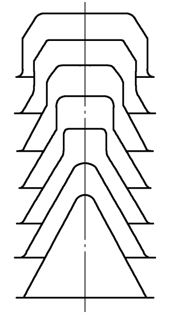


图5-48　上锥面逐步增大法

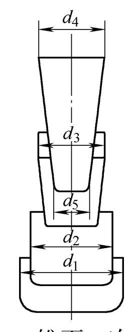


图5-49　锥面一次成形法

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} \tag{5-42}$$

式中　d_n——第 n 次拉深的平均直径（mm）；

d_{n-1}——第 $n-1$ 次拉深的平均直径（mm）。

平均直径的极限拉深系数见表 5-51。

表 5-51　深锥形制件一次成形法拉深系数

毛坯相对厚度 $\left(\frac{t}{d_{n-1}}\right)\times 100$	0.5	1.0	1.5	2.0
拉深系数 $m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}$	0.85	0.8	0.75	0.7

三、球形制件的拉深

球形制件一般有如图 5-50 所示几种形式。

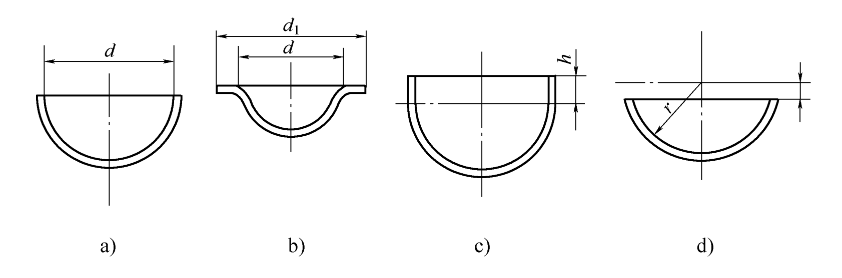


图 5-50　球形制件的形式

1）半球形制件。半球形制件如图 5-50a 所示，其拉深系数为

$$m = \frac{d}{D} = \frac{d}{\sqrt{2}d} = 0.71 = \text{常数}$$

这说明半球形制件变形程度不大，一次拉深就可成形，但由于球形制件拉深时，有部分材料处于悬空状态，材料薄容易起皱，所以不能简单地用拉深系数来衡量，而应以毛坯的相对厚度作为判断成形难易程度和选择拉深方法的依据。

①　当（t/D）$\times 100 > 3$ 时，由于稳定性好，可不用压边圈一次拉深成形，在最后进行整形，如图 5-51 所示。

②　当（t/D）$\times 100 = 0.5 \sim 3$ 时，需要用压边圈或反向拉深方法。

③　当（t/D）$\times 100 < 0.5$ 时，稳定性差，一般采用带拉深肋的凹模或反向拉深的方法，带拉深肋的凹模拉深如图 5-52 所示。

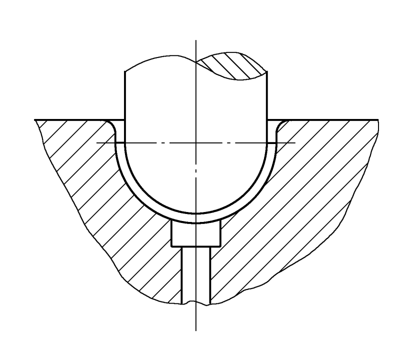


图 5-51　不带压边圈的球形件拉深

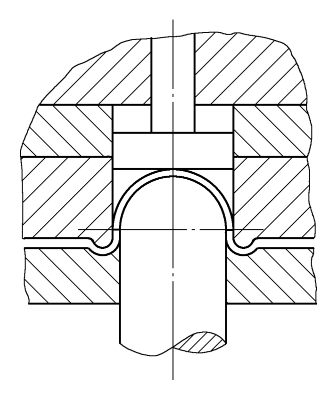


图 5-52　拉深肋凹模拉深

2）当球形制件带有高度 $h=(0.1\sim0.2)d$ 的直壁（图5-50c）或带有凸缘使 $d_1=(1.2\sim2)d$ 时（图5-50b），虽然变形程度有所加大，但对球面的成形却有好处。因此，对于不带凸缘和不带直壁的球形制件的表面质量和尺寸精度要求高时，可加大毛坯尺寸，形成凸缘拉深之后再切除。

3）高度小于球面半径的浅球形制件（图5-50d）在成形时，除了容易起皱外，坯料还容易偏移，卸载后还有一定的回弹。所以当毛坯直径 $D\leqslant9\sqrt{rt}$ 时，可以不压料，用球形底的凹模一次成形。当球面半径 r 较大，材料厚度 t 和深度较小时，必须按回弹量修模。当毛坯直径 $D>9\sqrt{rt}$ 时，应加大毛坯直径，并用强力压边圈或带压料肋的模具进行拉深，以克服回弹并防止毛坯在成形时产生偏移。多余的材料可在成形后切边。

四、抛物线形制件的拉深

1. 浅抛物线形制件（$h/d<0.5\sim0.6$）

其变形特点及拉深方法与半球形制件相似。图5-53所示为灯罩及其拉深模。材料为08钢，厚度为0.8mm，经计算得毛坯直径 $D=280$mm，根据 $h/d=0.58$，$(t/D)\times100=0.29$，所以采用上述半球形的第三种成形方法，即用有两道压料肋的凹模进行拉深。

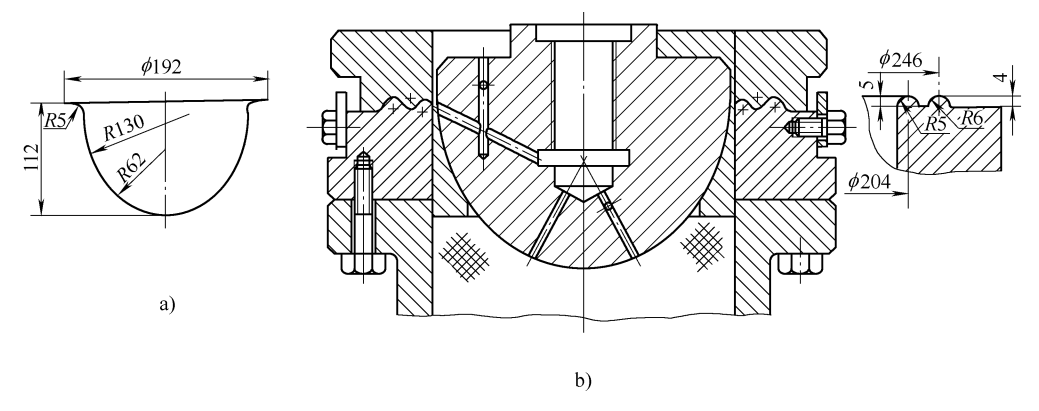


图5-53 灯罩及其拉深模

a）制件图 b）拉深模

2. 深抛物线形制件（$h/d>0.6$）

此类制件一般需多次拉深，逐步成形，常用的拉深方法如下：

（1）直接拉深法　材料相对高度较小 $h/d\approx0.6\sim0.7$，材料相对厚度较大时，由于产生起皱的可能性小，一般可以使制件上部按图样尺寸拉成近似形，然后再次拉深时使制件下部接近图样尺寸，最后全部拉深成形，如图5-54a所示。材料相对高度较小，材料相对厚度较小时，首先作预备形状，凸模头部制成带锥度的或普通圆弧形状，然后再多次拉深，使制件成形，如图5-54b所示。

（2）阶梯拉深法　经多次拉深到大直径，再保持拉深直径不变，拉深成近似形状的阶梯圆筒形件，最后以胀形成形，如图5-55所示。

（3）反拉深法　首先拉深成圆筒形，然后反拉深逐渐拉深成所需形状。此方法对 h/d 较大、t/D 较小的抛物线形制件的效果很好，如图5-56所示。

（4）液压机械拉深法　在拉深过程中，毛坯在液压作用下，在凸、凹模的间隙之间形成反凸而构成液体“凸坎”，它起着拉深肋的作用，同时凸模下压时造成的液压压力使毛坯反拉而贴靠凸模成形，创造了良好的拉深条件，可减少拉深次数，如图5-57所示。

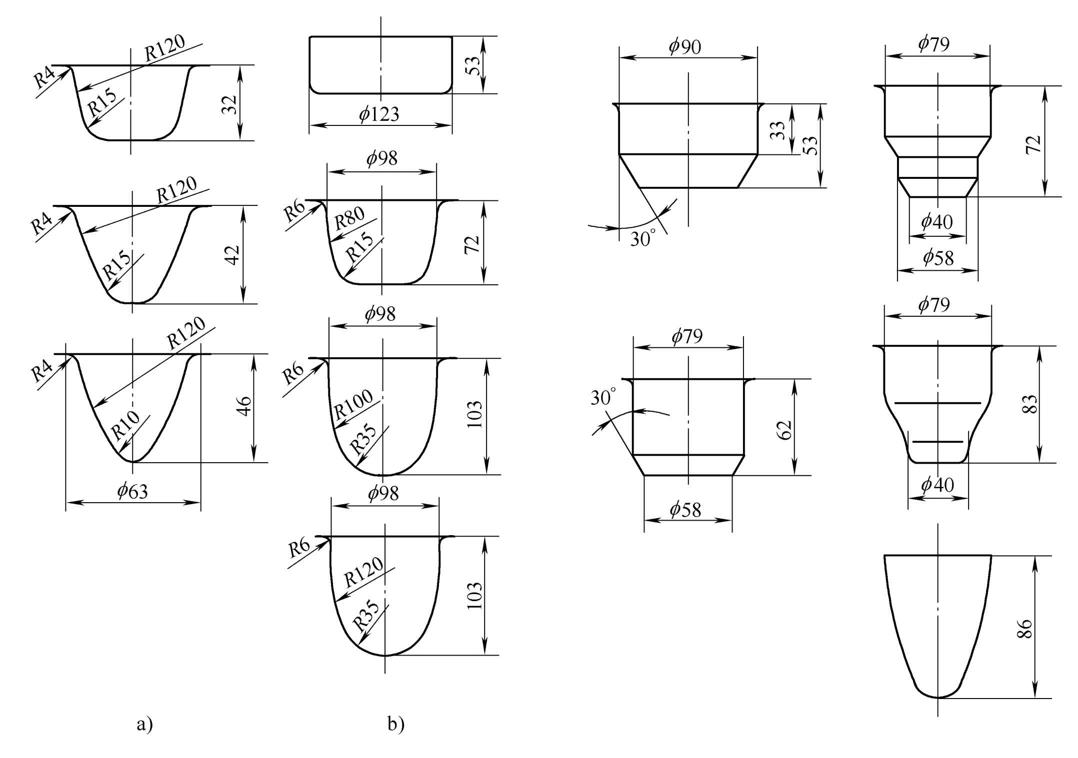


图 5-54　抛物线形制件的直接拉深法

图 5-55　抛物线形制件的阶梯拉深法

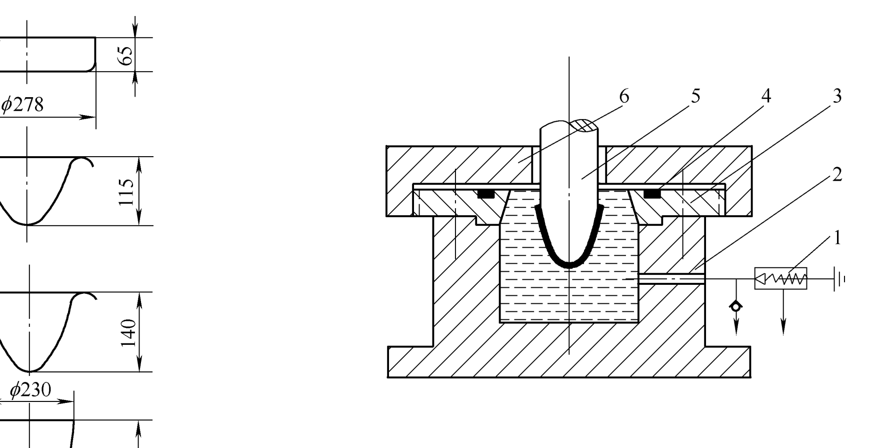


图 5-56　抛物线形件的反拉深法

图 5-57　抛物线形制件的液压机械拉深法

1—压力控制阀　2—下模座　3—凹模

4—密封阀　5—凸模　6—压边圈

五、复杂形状制件的拉深

复杂形状制件的拉深，由于其制件的形状多样性，没有统一的方法来确定其工艺程序，但一般应遵循以下原则：

1）首先拉深内部，然后拉深外部，如图 5-58 所示。

2）如果制件凸缘或底部与母线所成角度不足 90°，则从第一次拉深开始，凸缘或底部就应有一定的斜度，如图 5-59 所示。

3）第一次拉深的体积应比有凸缘件多 10%～15%，然后在各次拉深中，将多余材料移到凸缘。

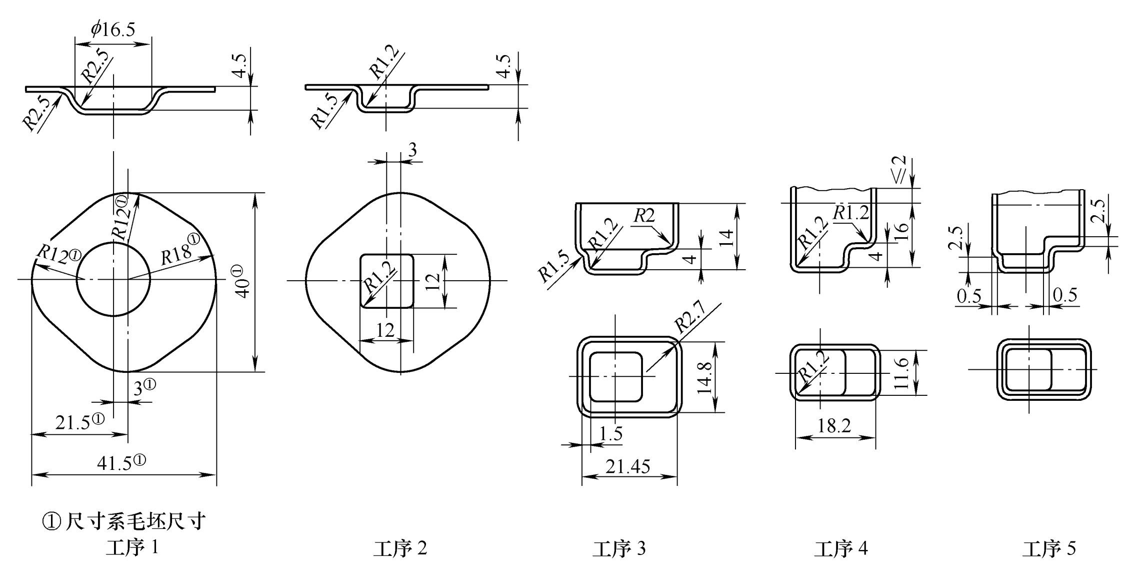


图 5-58　复杂形状制件的拉深

材料：H62 黄铜

4）对于带有斜面的制件，从第二次拉深开始，压边圈和凹模之间的间隙应均匀，使得压边圈将四周材料都压牢在凹模面上，以防拉深时起皱，如图 5-60 所示。

第三次拉深

第二次拉深

第一次拉深

材料：H62 黄铜

图 5-59　复杂形状制件的拉深

材料：H62 黄铜

图 5-60　复杂形状制件的拉深

第七节　拉深模工作部分尺寸的确定

一、凸模和凹模圆角半径

1. 凹模圆角半径

凹模圆角半径对拉深过程有很大的影响，凹模圆角半径越大，则材料拉入凹模的阻力减小，拉深时所需拉力就越小，就可减小拉深件壁部变薄，降低拉深系数，提高模具寿命和拉深件质量。但凹模圆角半径过大，则会使毛坯过早脱离压边圈的作用而引起拉深件起皱。因此，凹模圆角半径应在不产生起皱的前提下越大越好。首次拉深凹模圆角半径可按经验公式计算

$$R_{d1} = 0.8\sqrt{(D-d)t} \tag{5-43}$$

式中　R_{d1}——首次拉深凹模圆角半径（mm）；

D——毛坯直径（mm）；

d——凹模直径（mm）；

t——材料厚度（mm）。

当制件直径 $d>200$mm 时，凹模圆角半径 R_{d1} 可按下式确定

$$R_{d1} = 0.039d + 2$$

凹模圆角半径也可按制件材料厚度和材料种类来确定。首次拉深凹模圆角半径的值可查表 5-52。

表 5-52　首次拉深凹模圆角半径

材料种类	材料厚度 t/mm		
	≤3	>3～6	>6
钢	（10～6）t	（6～4）t	（4～2）t
纯铜、黄铜、铝	（8～5）t	（5～3）t	（3～1.5）t

以后各次拉深凹模圆角半径应逐渐减少，一般按下式确定

$$R_{dn} = (0.6 \sim 0.8)R_{dn-1} \tag{5-44}$$

矩形件拉深模首次拉深凹模圆角半径按下式确定

$$R_d = (4 \sim 8)t$$

2. 凸模圆角半径

1）凸模圆角半径可按图 5-61 中数据选取。

2）除最后一次拉深工序外，其他所有各次拉深工序中，凸模圆角半径 R_p 也可取与凹模圆角半径相等或略小的数值

$$R_p = (0.6 \sim 1)R_d \tag{5-45}$$

3）最后一次拉深中，凸模圆角半径应与制件的圆角半径相等。但对于材料厚度 $t<6$mm 的材料，其数值一般不小于（2～3）t。对于材料厚度 $t>6$mm 的材料，其数值一般不小于（1.5～2）t。

4）如果制件要求的圆角半径很小，则在最后一次拉深工序以后，须进行整形。

有斜角的凸模，一般用来拉深中型及大型尺寸的筒形件，对于非圆形制件，第 $n-1$ 次拉深时底部做成了斜角，将有利于成形。对于有斜角的凸模，其圆角半径应增大。

二、凸模与凹模之间的间隙

拉深模间隙小，则拉深力大，凹模磨损大，模具寿命低。但拉深件回弹小，精度高。拉深模间隙过小，会使制件壁部厚度严重变薄甚至拉裂。拉深模间隙过大，则毛坯材料容易起皱，拉深件锥度大，精度低。

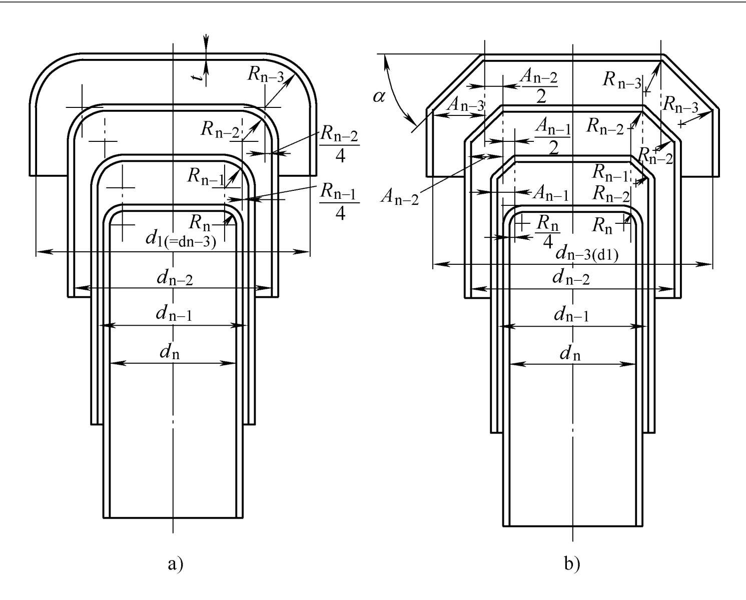


图 5-61　凸模圆角半径

a）用于初次拉深 $d_1 < 60t$，最后一次拉深的凸模圆角半径和前一次拉深凸模圆角半径的中心应在同一直线上。

$$r_{n-1} = \frac{d_{n-1} - d_n}{2} + r_n \quad r_{n-2} = \frac{d_{n-2} - d_{n-1}}{2} + \frac{r_{n-1}}{4} \quad r_{n-3} = \frac{d_{n-3} - d_{n-2}}{2} + \frac{r_{n-2}}{4}$$依此类推

b）用于初次拉深 $d_1 > 60t$　$A_{n-1} = \frac{d_{n-1} - d_n}{2} + \frac{r_n}{4}$　$A_{n-2} = \frac{d_{n-2} - d_{n-1}}{2} + \frac{A_{n-1}}{2}$　$A_{n-3} = \frac{d_{n-3} - d_{n-2}}{2} + \frac{A_{n-2}}{2}$

依此类推　斜角 α　$t \leqslant 0.7\text{mm}$　$\alpha = 30°$　$t > 0.7 \sim 1.5\text{mm}$　$\alpha = 40°$　$t > 1.5\text{mm}$　$\alpha = 45°$

1）无压边圈的拉深模其间隙为

$$Z = (1 \sim 1.1)t_{max} \tag{5-46}$$

式中　Z——拉深模凸、凹模之间的单边间隙（mm）；

t_{max}——材料最大极限厚度（mm）。

首次拉深和中间各工序拉深或精度不高制件的拉深取 $Z = 1.1t$，最后一次拉深或精度要求高的制件的拉深取 $Z = t$。

2）有压边圈的拉深模，其间隙可按表 5-53 确定。

表 5-53　有压边圈拉深时的单边间隙

总拉深次数	拉深工序	单边间隙	总拉深次数	拉深工序	单边间隙
1	一次拉深	$(1 \sim 1.1)t$	4	第一、二次拉深	$1.2t$
2	第一次拉深	$1.1t$		第三次拉深	$1.1t$
	第二次拉深	$(1 \sim 1.05)t$		第四次拉深	$(1 \sim 1.05)t$
3	第一次拉深	$1.2t$	5	第一、二、三次拉深	$1.2t$
	第二次拉深	$1.1t$		第四次拉深	$1.1t$
	第三次拉深	$(1 \sim 1.05)t$		第五次拉深	$(1 \sim 1.05)t$

对于精度要求高的制件，为保证尺寸精度，必须减小拉深后的回弹，因而最后一次拉深时，常采用负间隙拉深，其单边间隙为

$$Z = (0.9 \sim 0.95)t \tag{5-47}$$

3）对于盒形件拉深模，凸、凹模之间的间隙可参照圆筒形件拉深模凸、凹模之间的间隙选取。但最后一次拉深模间隙，圆角部分的间隙比直边部分大 $0.1t$。这是由于材料在角落部分会变

厚的缘故。圆角部分的间隙确定方法如图 5-62 所示。

当制件尺寸标注在内形时，凹模平面转角的圆角半径为

$$R_d = \frac{0.414R_a - 0.1t}{0.414} \quad (5\text{-}48)$$

当制件尺寸标注在外形时，凸模平面转角的圆角半径为

$$R_p = \frac{0.414R_b + 0.1t}{0.414} \quad (5\text{-}49)$$

$$R_a = R_p + Z$$

$$R_b = R_d - Z$$

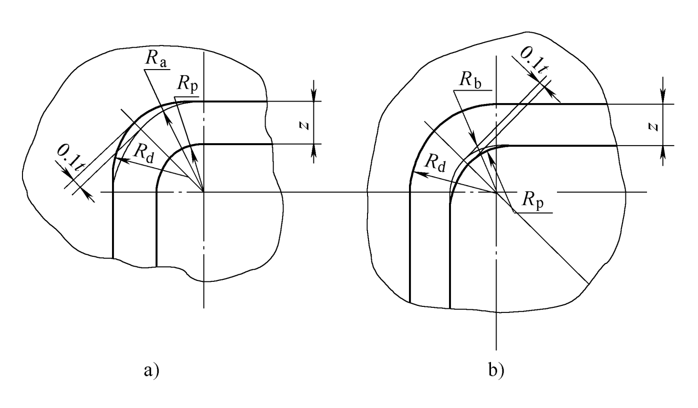


图 5-62　矩形件拉深模角部间隙的确定

a) 尺寸标注在内形　b) 尺寸标注在外形

三、凸模与凹模工作部分尺寸的计算

对于需多次拉深成形的制件，由于最后一道拉深是成形的尺寸，因此对于最后一道拉深应按制件有关尺寸及公差计算，其余工序关注公称尺寸，见表 5-54。

表 5-54　拉深模凸模与凹模工作部分尺寸的计算

尺寸标注形式	凹模尺寸	凸模尺寸	尺寸标注形式	凹模尺寸	凸模尺寸
$D_{-\Delta}^{0}$ 标注外形的最后成形工序	$D_d = (D_{max} - 0.75\Delta)^{+\delta_d}_{0}$	$D_p = (D_{max} - 0.75\Delta - 2Z)^{0}_{-\delta_p}$	$d^{+\Delta}_{0}$ 标注内形的最后成形工序	$d_d = (d_{max} + 0.4\Delta + 2Z)^{+\delta_d}_{0}$	$d_p = (d_{max} + 0.4\Delta)^{0}_{-\delta_p}$
D 标注外形的其余各工序	$D_d = D_0^{+\delta_d}$	$D_p = (D_d - 2Z)^{0}_{-\delta_p}$	d 标注内形的其余各工序	$d_d = (d_p + 2Z)_0^{+\delta_d}$	$d_p = d^{0}_{-\delta_p}$

注：D——各工序基本外径尺寸(mm)；

Δ——制件公差(mm)；

Z——拉深模单边间隙(mm)；

d——各工序基本内径尺寸(mm)；

δ_p、δ_d——凸、凹模制造公差，可按 GB/T 1800.1—2009 中 IT8 级公差选取，也可按表 5-55 选取。

除最后一道工序中凸、凹模制造公差要求较高外，其余各工序制造公差可适当放大些。当制件精度要求很高时，除最后一道工序应采用负间隙拉深外，还应严格控制凸、凹模制造公差，以确保制件精度。

表 5-55　拉深模凸、凹模制造公差　　（单位：mm）

材料厚度	拉深件直径							
	≤10		>10～30		>30～50		>50～150	
	δ_p	δ_d	δ_p	δ_d	δ_p	δ_d	δ_p	δ_d
0.5	0.01	0.015	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
>0.5～2	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
>2～3	—	—	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06

第八节　压料力与拉深力

一、压料力的确定

为了解决拉深过程中的起皱问题，生产中常采用压边圈将料压牢进行拉深，是否采用压边圈可由表 5-56 中所列条件确定。

表 5-56　拉深时是否采用压边圈的条件

拉深方法	第一次拉深		以后各次拉深	
	$(t/D)\times100$	m_1	$(t/d_{n-1})\times100$	m_n
用压边圈	<1.5	<0.6	<1.0	<0.8
可用也可不用	1.5～2.0	0.6	1.0～1.5	0.8
不用压边圈	>2.0	>0.6	>1.5	>0.8

1. 压料装置

（1）弹性压料装置　这种装置多用于普通单动压力机上，其压料力随压力机的行程而变化，有弹簧压边装置。如将橡胶改为弹簧即为弹簧压料装置。橡胶压料装置如图 5-63 所示，气垫压料装置或氮气弹簧压料装置，如图 5-64 所示。

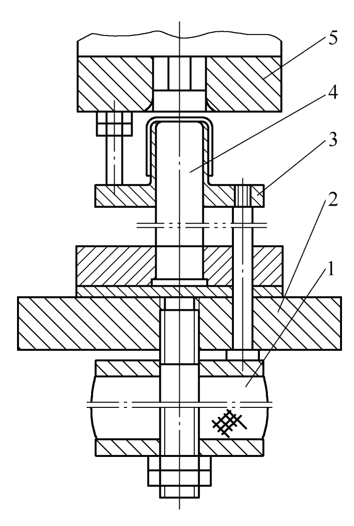


图 5-63　橡胶压边装置

1—橡胶　2—下模座　3—定位套　4—凸模　5—凹模

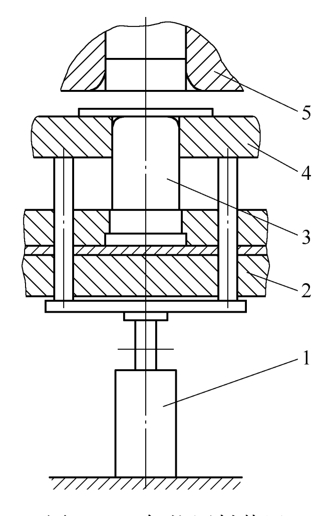


图 5-64　气垫压料装置

1—气垫　2—下模座　3—凸模　4—压边圈　5—凹模

这三种压边装置压料力的变化曲线如图 5-65 所示，从图中可看出，弹簧和橡胶压边装置的压力随行程的增大而升高，而实际上随着拉深深度的增加，所需的压料力逐渐减小，因此这两种压边装置的效果不理想，易造成拉裂，一般适用于浅拉深。气垫式压边装置的压料力随行程变化的变化量很小，因此压边效果较好。但它结构复杂，制造、使用、维修都困难，并需使用压缩空气，因而中、

小型企业很少使用，近年来，逐渐被氮气弹簧所代替。

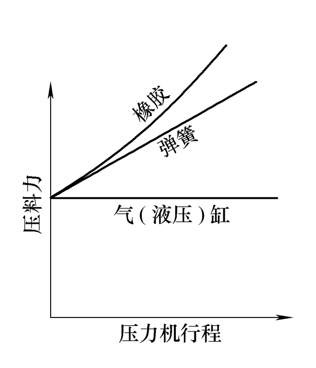


图 5-65　压边装置压料力的变化曲线

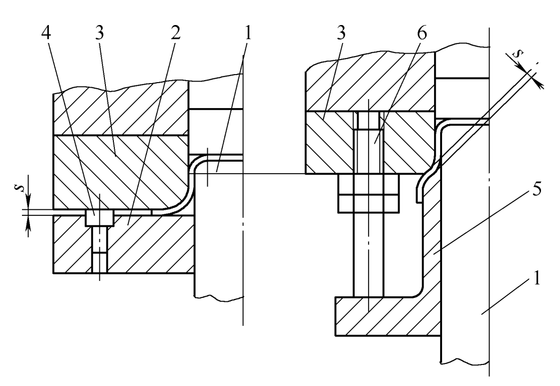


图 5-66　带限位装置的压边圈

1—凸模　2—压边圈　3—凹模　4—限位销　5—定位套（压边圈）　6—限位杆

在拉深过程中，为了防止压边圈将毛坯压得太紧，可采用带限位装置的压边圈，如图 5-66 所示，使压边圈和凹模之间始终保持一定距离 S。拉深钢制件时，$S=1.2t$，拉深铝合金制件时，$S=1.1t$。

（2）刚性压料装置　这种压料装置用于双动压力机上，压边圈安装在外滑块上，拉深凸模安装在内滑块上，如图 5-67 所示。压料力由外滑块产生，拉深过程中压边平稳，压料力不变，适用于拉深大型制件。

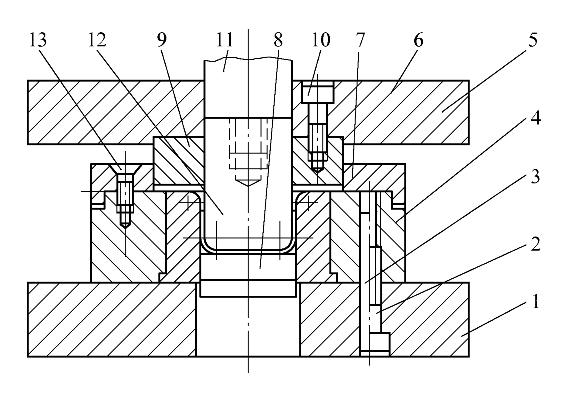


图 5-67　刚性压料装置

1—下模座　2、10、13—螺钉　3—销　4—凹模套　5—凹模　6—上模座　7—定位板　8—顶件板　9—压边圈　11—压力机螺杆　12—凸模

2. 压料力的计算

压料力过小会起皱，压料力太大会拉裂，因而应在不起皱的情况下压料力越小越好。拉深时压料力的计算可按表 5-57 所给公式进行。

表 5-57　拉深时压料力计算

工艺特征		计算公式	式中代号
压料力计算		$F_1=Ap$	A——压边圈下毛坯投影面积（mm^2） D——毛坯直径（mm） $d_1\sim d_n$——第 1 次到第 n 次拉深直径（mm） R_d——凹模圆角半径（mm） p——单位压料压强（MPa），查表 5-58 和表 5-59
圆筒形件	第一次拉深	$F_1=\frac{\pi}{4}[D^2-(d_1+2R_d)^2]p$	
	以后各次拉深	$F_1=\frac{\pi}{4}[d_{n-1}{}^2-(d_n+2R_d)^2]p$	

表 5-58　单动压力机上拉深时单位面积压料压强

材料名称	p/MPa	材料名称	p/MPa
铝	0.8～1.2	20 钢、08 钢、镀锡钢板	2.5～3.0
纯铜、硬铝（退火或刚淬火的）	1.2～1.8	软化状态的耐热钢	2.8～3.5
黄铜	1.5～2.0	高合金钢、高锰钢、高镍钢	3.0～4.5
压轧青铜	2.0～2.5		

表 5-59　双动压力机上拉深时单位面积压料压强

制件复杂程度	p/MPa	制件复杂程度	p/MPa	制件复杂程度	p/MPa
难加工制件	3.7	普通加工制件	3	易加工制件	2.5

二、拉深力确定

拉深力一般采用表 5-60 所列经验公式计算。

表 5-60　拉深力计算公式

工艺特征		计算公式	
		第一次拉深力	以后各次拉深力
圆筒形件	无压边圈	$F_2 = 1.25\pi(D - d_1)tR_m$	$F_2 = 1.3\pi(d_{n-1} - d_n)tR_m$
	有压边圈	$F_2 = \pi d_1 tR_m k_1$	$F_2 = \pi d_n tR_m k_2$
无凸缘圆筒形件		$F_2 = \pi d_1 tR_m k_3$	$F_2 = \pi d_n tR_m k_2$
有凸圆锥形件及球形件		$F_2 = \pi d_1 tR_m k_3$	
变薄拉深		$F_2 = \pi d_n(t_{n-1} - t_n)R_m k_4$	
矩形件		$F = (0.3 \sim 0.8)LtR_m$	

注：d_1、…、d_n——首次及以后各次拉深工序件直径(按中经计算)，锥形制件指小端直径，半球形制件取直径的1/2(mm)；

t——材料厚度(mm)；

R_m——材料抗拉强度(MPa)；

L——矩形件周长(mm)；

k_1、k_2、k_3——系数，分别查表 5-61、表 5-62、表 5-63；

k_4——系数，黄铜为 1.6 ~ 1.8，钢为 1.8 ~ 2.25。

表 5-61　无凸缘圆筒形拉深件首次拉深力的修正系数 k_1 值

毛坯相对厚度	首次拉深系数 $m_1 = d_1/D$									
$(t/D) \times 100$	0.45	0.48	0.50	0.52	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
5.0	0.95	0.85	0.75	0.65	0.60	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20
2.0	1.10	1.00	0.90	0.80	0.75	0.60	0.50	0.42	0.35	0.25
1.2	—	1.10	1.00	0.90	0.80	0.68	0.56	0.47	0.37	0.30
0.8	—	—	1.10	1.00	0.90	0.75	0.60	0.50	0.40	0.33
0.5	—	—	—	1.10	1.00	0.82	0.67	0.55	0.45	0.36
0.2	—	—	—	—	1.10	0.90	0.75	0.60	0.50	0.40
0.1	—	—	—	—	—	1.10	0.90	0.75	0.60	0.50

注：当凸模圆角半径 $R_p = (4 \sim 6)t$ 时，系数 k_1 增加 5%。

表 5-62　无凸缘圆筒形拉深件以后各次拉深拉深力的修正系数 k_2 值

毛坯相对厚度	以后各次拉深系数 m_n									
$(D/t) \times 100$	0.7	0.72	0.75	0.78	0.80	0.82	0.85	0.88	0.90	0.92
5.0	0.85	0.70	0.60	0.50	0.42	0.32	0.28	0.20	0.15	0.12
2.0	1.10	0.90	0.75	0.60	0.52	0.42	0.32	0.25	0.20	0.14
1.2	—	1.10	0.90	0.75	0.62	0.52	0.42	0.30	0.25	0.16
0.8	—	—	1.00	0.82	0.70	0.57	0.46	0.35	0.27	0.18
0.5	—	—	1.10	0.90	0.76	0.63	0.50	0.40	0.30	0.20
0.2	—	—	—	1.00	0.85	0.70	0.56	0.44	0.33	0.23
0.1	—	—	—	1.10	1.00	0.82	0.68	0.55	0.40	0.30

注：1. 凸模圆角半径 $R_p = (4 \sim 6)t$ 时，系数 k_2 增加 5%。

2. 第二次以后各次拉深，如中间退火，仍按表中所列选取；不退火再拉深时，按同列下面一行数值选用。

表 5-63　有凸缘的圆筒形件首次拉深力的修正系数 k_3 值

凸缘相对直径	首次拉深系数 $m_1=d_1/D$										
d_t/d_1	0.35	0.38	0.40	0.42	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
3.0	1.00	0.90	0.83	0.75	0.68	0.56	0.45	0.37	0.30	0.23	0.18
2.8	1.10	1.00	0.90	0.83	0.75	0.62	0.50	0.42	0.34	0.26	0.20
2.5	—	1.10	1.00	0.90	0.82	0.70	0.56	0.46	0.37	0.30	0.22
2.2	—	—	1.10	1.00	0.90	0.77	0.64	0.52	0.42	0.33	0.25
2.0	—	—	—	1.10	1.00	0.85	0.70	0.58	0.47	0.37	0.28
1.8	—	—	—	—	1.10	0.95	0.80	0.65	0.53	0.43	0.33
1.5	—	—	—	—	—	1.10	0.90	0.75	0.62	0.50	0.40
1.3	—	—	—	—	—	—	1.00	0.85	0.70	0.56	0.45

注：1. 表中所列数值对于不用拉深肋的带凸缘锥形制件及半球形制件也适用。

2. 用拉深肋时上列数值增加 10% ~20%。

三、压力机公称压力的确定

压力机公称压力的确定见表 5-64。

表 5-64　压力机公称压力的确定

压力机类型	计算公式
单动压力机	$F>F_1+F_2$
双动压力机	$F_外>F_1\quad F_内>F_2$

注：F——单动压力机公称压力(N)；

$F_外$——双动压力机外滑块公称压力(N)；

$F_内$——双动压力机内滑块公称压力(N)；

F_1——压料力(N)；

F_2——拉深力(N)。

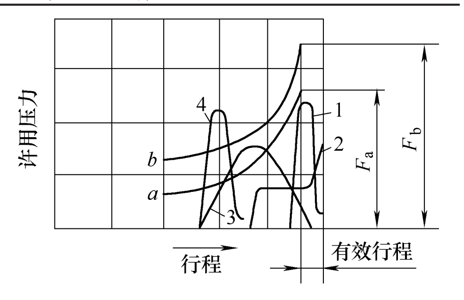


图 5-68　曲轴压力机的许用压力—行程曲线

1、4—落料工艺变形力曲线　2—弯曲工艺变形力曲线　3—拉深工艺变形力曲线

选择压力机公称压力时必须注意，当拉深工作行程较大时，尤其是落料拉深复合模，应使工艺力曲线位于压力机滑块的许用压力曲线之下。而不能简单按压力机公称压力大于工艺力的原则去确定压力机规格，如图 5-68 所示。由图中可以看出，在进行落料(曲线 1)或弯曲(曲线 2)时，选用公称压力为 F_a 的压力机，完全可以保证在全部行程中的变形力都低于压力机的许用压力，所以是合理的。但是，公称压力为 F_a 的压力机，虽然公称压力大于拉深变形(曲线 3)所需的最大力，但在全行程中，压力机的许用压力曲线不能都高于拉深变形力曲线，所以在这种情况下必须选用公称压力为 F_b 的压力机。由图 5-68 还可看出，如果采用落料拉深复合模，这时光落料力(曲线 4)就已经超过了压力机许用压力曲线，如加上拉深力则超过更多，所以落料拉深时不能选用公称压力为 F_b 的压力机，还需选用更大公称压力的压力机。

在实际生产中可以按下式来确定压力机公称压力

浅拉深　$F\geqslant(1.6\sim1.8)(F_1+F_2)$　(5-50)

深拉深　$F\geqslant(1.8\sim2.0)(F_1+F_2)$　(5-51)

四、拉深功的计算

拉深功按下式计算

$$W=\frac{C(F_1+F_2)h}{1000}\tag{5-52}$$

式中　W——拉深功(J)；

(F_1+F_2)——压料力+拉深力(N)；

h——凸模工作行程(mm)；

C——系数，与拉深力曲线有关的系数，可取0.6~0.8。

压力机的电动机功率可按下式计算

$$P=\frac{KWn}{60\times1000\times\eta_1\eta_2} \tag{5-53}$$

式中 P——电动机功率(kW)；

W——拉深功(J)；

K——不均衡系数，可取1.2~1.4；

η_1——压力机效率，可取0.6~0.8；

η_2——电动机效率，可取0.9~0.95；

n——压力机每分钟行程数。

若所选压力机的电动机功率小于计算值，则应选更大的压力机。

第六章　成　　形

第一节　起伏成形

起伏成形一般用于压制加强肋、凸包、凹坑、花纹图案及标记等。

根据制件的形状和复杂程度及材料性质，起伏成形可以一次成形或多次成形，如图 6-1 所示。

对于比较简单的起伏成形制件，则可按下式近似地确定极限变形程度，如图 6-2 所示。

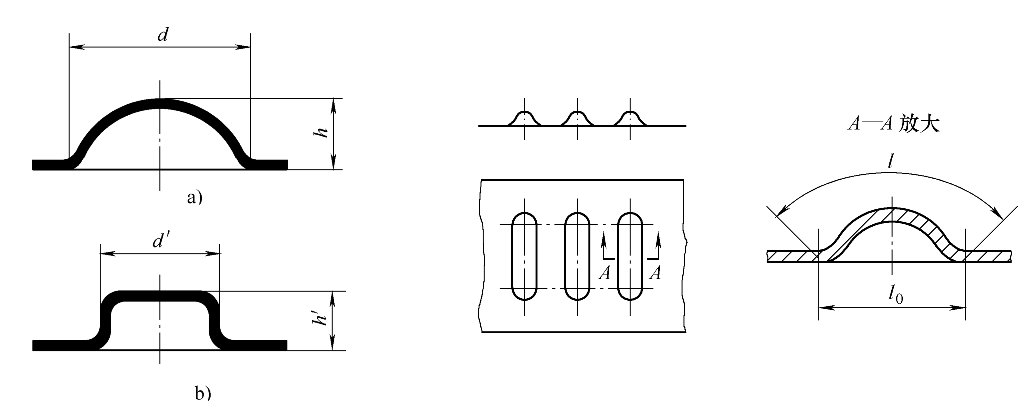


图 6-1　两次胀形的起伏成形

a）预成形　b）最后成形

图 6-2　极限变形程度

$$\varphi=\frac{l-l_0}{l_0}\times100\%\leqslant(0.7\sim0.75)\delta \tag{6-1}$$

式中　φ——极限变形程度(%)；

l——变形后的长度(mm)；

l_0——变形前的长度(mm)；

δ——材料的伸长率(%)。

一、加强肋、凸包和凹坑的成形

加强肋、凸包和凹坑的形式和尺寸见表 6-1。压凸包、凹坑的中间距离见表 6-2。直角制件压肋的形式和尺寸见表 6-3。

表 6-1　加强肋、凸包和凹坑的形式和尺寸

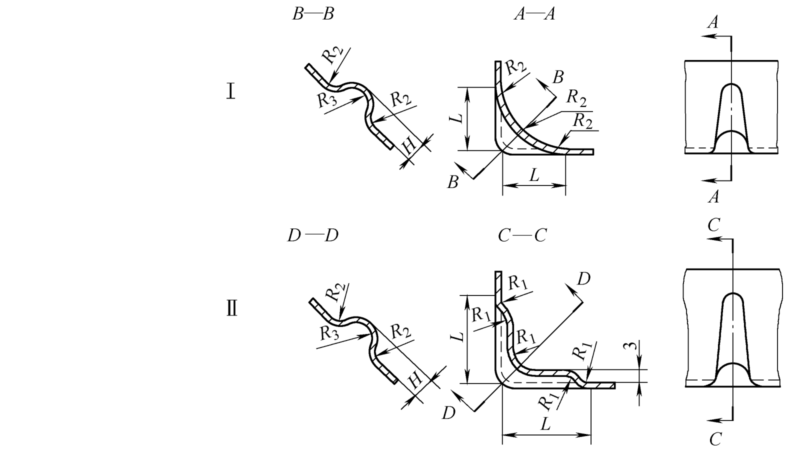
名称	简图	R	h	B 或 D	r	α
加强肋		$(3\sim4)t$	$(3\sim2)t$	$(7\sim10)t$	$(1\sim2)t$	
凸包 凹坑			$(1.5\sim2)t$	$\geqslant3h$	$(0.5\sim1.5)t$	15°～30°

注：表中的数值，前面为极限尺寸，后面的为正常尺寸。

表 6-2　压凸包、凹坑的中间距离　　（单位：mm）

简　图	D	L	l
	6.3	10	6
	8.5	13	7.5
	10.5	15	9
	13	18	11
	15	22	13
	18	26	16
	24	34	20
	31	44	26
	36	51	30
	43	60	35
	48	68	40
	55	78	45

表 6-3　直角制件压肋的形式和尺寸　　（单位：mm）



类型	L	R_1	R_2	R_3	H
Ⅰ	12	6	3	4	2
	20	8	4	6	3
Ⅱ	32	10	5	8	6

二、百页窗制件的成形

百页窗制件通常用于各种机壳和罩壳上，起通风散热作用。其成形方法是用凸模的一边刃口将材料切开，而凸模的其余部分则将材料拉深变形，从而形成有一边开口的起伏成形。

对于产量不大的制件，可采用聚氨酯橡胶成形，如图 6-3 所示。

对于产量较大的制件，凸模和凹模可都采用镶拼的方法，如图 6-4 所示。

三、起伏成形的压力计算（表 6-4）

表 6-4　起伏成形的压力计算

成形方法	计算公式
冲压加强肋	$F=LtR_mK$
压肋及矫正	$F=SK_1t^2$

注：式中　F——起伏成形力（N）；
L——加强肋周长（mm）；
t——材料厚度（mm）；
R_m——材料抗拉强度（MPa）；
S——起伏成形面积（mm^2）；
K——系数，$K=0.7\sim1$，肋窄而深取大值，肋宽而浅取小值；
K_1——系数，对于钢 $K_1=300\sim400$，对于黄铜 $K_1=200\sim250$。

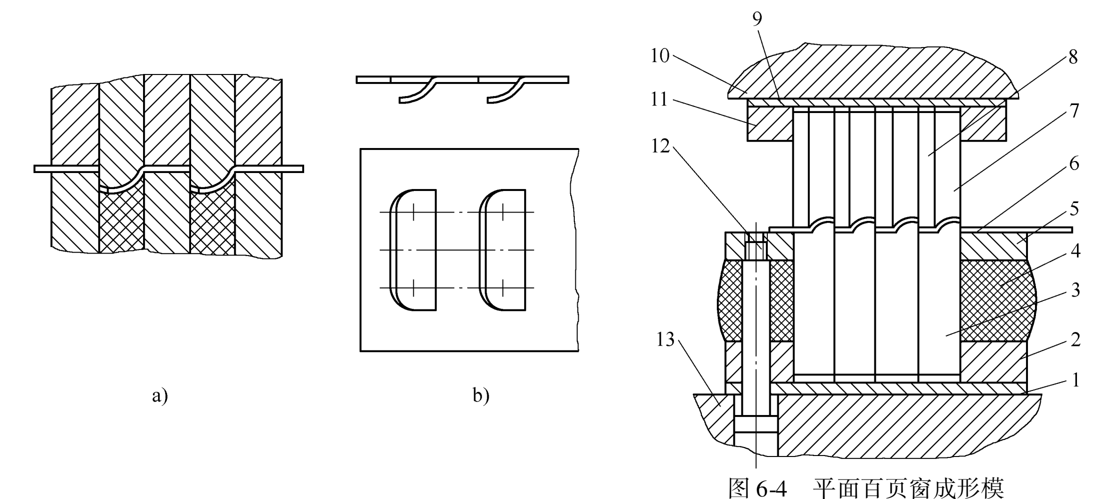


图 6-3　聚氨酯橡胶成形

a) 模具　b) 制件

图 6-4　平面百页窗成形模

1、9—垫板　2—凸模固定板　3—凸模　4—橡胶　5—卸料板　6—制件　7、8—凹模　10—上模座　11—凹模固定板　12—卸料螺钉　13—下模座

第二节　翻　　边

翻边分为两种基本形式，即内孔翻边和外缘翻边。

一、内孔翻边

在平板或成形制件上沿预冲孔的四周冲制出竖立的孔边缘的工序，称为孔的翻边成形，如图 6-5 所示。

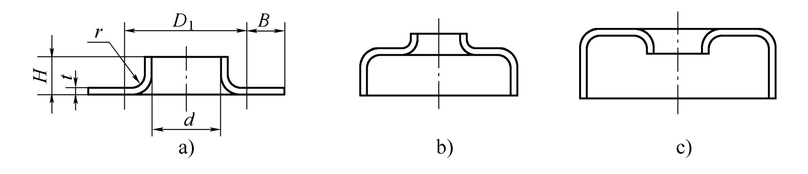


图 6-5　内孔翻边

a) 在板料上翻边　b)、c) 在拉深件上翻边

1. 内孔翻边的工艺性(表 6-5)

表 6-5　内孔翻边的工艺性

序号	工艺内容	尺寸参数
1	翻边制件的边缘与平面的圆角半径	$t<2$，$r=(2\sim4)t$ $t>2$，$r=(1\sim2)t$
2	翻边高度	$H\geqslant t+1.5r$
3	翻边时凸缘宽度	$B\geqslant H$
4	翻边有良好的圆筒壁	$d/t>1.7\sim2$
5	翻边时孔边缘容易产生破裂	$d/t<1.7\sim2$
6	翻边对孔的质量要求	孔应光滑，毛刺面应与翻边方向相反

2. 平板毛坯内孔翻边工艺计算

制件在翻边过程中，材料主要受切向拉伸使厚度变薄，而径向变形不大，因而可以简单地用弯曲的方法，近似地计算底孔尺寸，其工艺计算见表 6-6 和图 6-6。

表 6-6　平板毛坯翻边工艺计算

计算内容	计算公式
底孔直径 d_0	$d_0 = D - 2(H - 0.43r - 0.72t)$
翻边高度 H	$H = \frac{D - d_0}{2} + 0.43r + 0.72t$
翻边极限高度 H_{max}	$H_{max} = \frac{D}{2}(1 - m_{min}) + 0.43r + 0.72t$

注：m 为翻边系数，见表 6-8。

3. 拉深件底部冲孔翻边的工艺计算

有些制件是带台缘无底的筒形件，如采用拉深后冲孔方法达到要求，由于拉深后制件底部有圆角，冲出孔的底部不但质量差，而且模具制造也困难；因而常采用拉深后冲孔翻边达到要求。其工艺计算见表 6-7 和图 6-7。

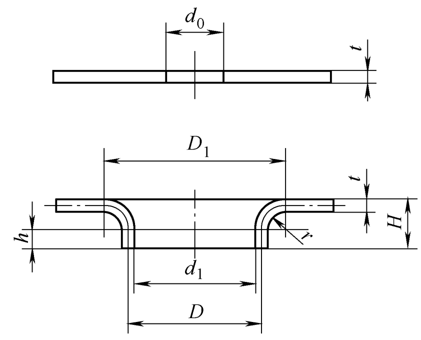



图 6-6　平板毛坯翻边工艺计算

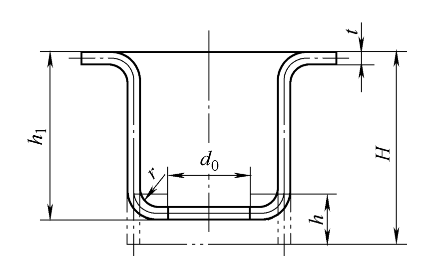


图 6-7　拉深件底部冲孔翻边的工艺计算

表 6-7　拉深件底部冲孔翻边的工艺计算

计算内容	计算公式
翻边高度 h	$h = \frac{D - d_0}{2} + 0.57\left(r + \frac{t}{2}\right)$
翻边极限高度 h_{max}	$h_{max} = \frac{D}{2}(1 - m_{min}) + 0.57\left(r + \frac{t}{2}\right)$
预冲孔直径 d_0	$d_0 = m_{min}D$ 或 $d_0 = D + 1.14\left(r + \frac{t}{2}\right) - 2h$
拉深件高度 h_1	$h_1 = H - h_{max} + r + t$

4. 翻边系数

内孔翻边的主要危险在于孔口边缘被拉裂，破裂的条件取决于变形程度的大小。变形程度以翻边前孔径 d_0 与翻边后孔径 D 的比值 m 来表示，即

$$m = \frac{d_0}{D} \tag{6-2}$$

m 称为翻边系数，显然，m 值越大，变形程度越小；m 值越小，变形程度越大。翻边孔不致破裂所能达到的最小翻边系数称为极限翻边系数。极限翻边系数主要与材料力学性能、孔的边缘状况、材料的相对厚度及凸模的形状有关。

内孔翻边时，孔口边缘产生的拉应变为

$$\delta = \frac{\pi D - \pi d_0}{\pi d_0} = \frac{D}{d_0} - 1 = \frac{1}{m} - 1$$

即

$$m = \frac{1}{1 + \delta} \tag{6-3}$$

由此可见，伸长率δ越大，m 值就越小。各种材料的首次翻边系数见表6-8，低碳钢的极限翻边系数见表6-9。

表6-8　各种材料的首次翻边系数 m

材料名称	翻边系数	
	m	m_{min}
白铁皮	0.70	0.65
低碳钢，$t=0.25\sim2$mm $t=3.0\sim6$mm	0.72 0.78	0.68 0.75
黄铜H62，$t=0.5\sim6$mm	0.68	0.62
铝，$t=0.5\sim5$mm	0.70	0.64
硬铝合金	0.89	0.80
钛合金TA1(冷态) TA1(加热300~400℃)	0.64~0.68 0.4~0.5	0.55 0.38
TA5(冷态) TA5(加热500~800℃)	0.85~0.9 0.70~0.65	0.75 0.55
不锈钢、高温合金	0.69~0.65	0.61~0.57

注：当翻边孔口边缘允许有不大的裂痕时，采用 m_{min} 值，在一般情况下用 m 值。

表6-9　低碳钢的极限翻边系数 m

翻边凸模形状	孔的加工方法	材料相对厚度 d_0/t										
		100	50	35	20	15	10	8	6.5	5	3	1
抛物线形、锥形	钻孔去毛刺	0.70	0.60	0.52	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.25	0.20
	冲孔	0.75	0.65	0.57	0.52	0.48	0.45	0.44	0.43	0.42	0.42	
平底	钻孔去毛刺	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45	0.42	0.40	0.37	0.35	0.30	0.25
	冲孔	0.85	0.75	0.65	0.60	0.55	0.52	0.50	0.50	0.48	0.47	

5. 内孔翻边力的计算

翻边力一般不大，用平底凸模翻边所需的力可按下式计算，用抛物线形或锥形凸模翻边时略小于上述计算值。

$$F=1.1\pi t\sigma_s(D-d_0) \tag{6-4}$$

式中　t——材料厚度(mm)；

σ_s——材料屈服强度(MPa)；

D——翻边后直径(按中线计算)(mm)；

d_0——毛坯预制孔直径(mm)。

6. 非圆孔的翻边

非圆孔的翻边如图6-8所示，可视为由8个简单分段组成，其翻边前底孔尺寸和形状，可按下列方法确定。

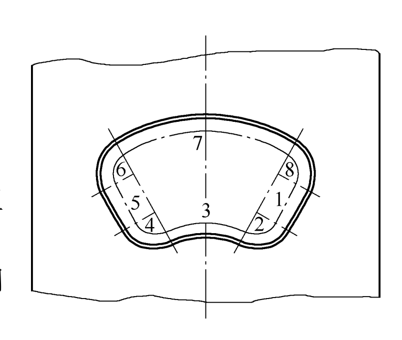


图6-8　非圆孔的翻边

1）对于2、4、6、7和8段的圆弧，采用与圆孔翻边相同的方法计算。

2）对于3段的圆弧，采用半径相同的拉深件的方法计算。

3）对于1、5段的直线部分，则采用两端同时弯曲的方法计算。

一般圆角部分的翻边宽度取直线部分宽度的(1.05~1.1)倍，并适当修正，使相接处平滑过渡。

7. 变薄翻边

当筒形件壁厚小于材料厚度，或制件的高度较高，用普通翻边无法达到要求时，如果允许壁厚小于材料厚度，则可用变薄翻边。

变薄翻边时，变形区材料先受拉伸变形使孔径逐步扩大，而后材料在小于板料厚度的凸、凹

模间隙中受到挤压变形，使材料厚度显著变薄。所以变薄翻边的变形程度不仅取决于翻边系数，而且取决于壁厚的变薄系数。变薄系数一般用变薄翻边后制件的壁厚与变薄翻边前材料原始厚度之比表示，一次变薄翻边的变薄系数可取 0.4 ~ 0.5。

变薄翻边凸缘高度 H_1 可按下式计算，如图 6-9 所示。

$$H_1 = H + \frac{1}{2}\left(\frac{t}{z} - 1\right)(H - h_1) \tag{6-5}$$

式中　H——无变薄翻边的翻边高度(mm)；

z——凸、凹模之间单边间隙(mm)；

h_1——没有变薄的部分高度(mm)，$h_1 = \frac{z-t}{t-t_1}H$。

(1) 螺纹底孔的变薄翻边　在生产中，为使板料上的螺纹底孔增加其高度，广泛应用变薄翻边的方法，见图 6-10 和表 6-10。

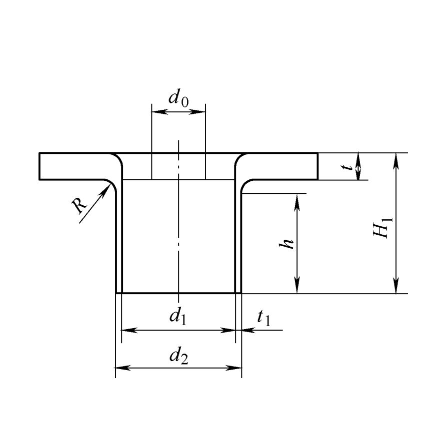


图 6-9　变薄翻边

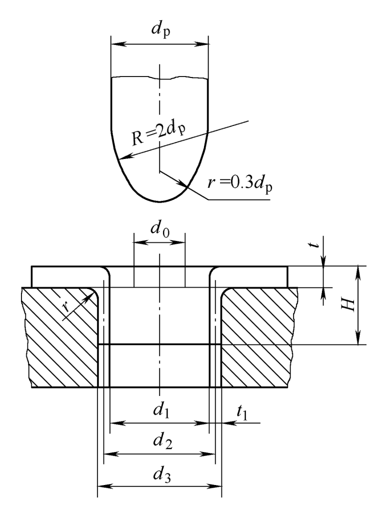


图 6-10　螺纹底孔的翻边

表 6-10　螺纹底孔的翻边工艺计算

计算内容	计算公式
变薄翻边后的壁厚 t_1	$t_1 = \frac{d_3 - d_1}{2} = 0.65t$
毛坯上的孔径 d_0	$d_0 = 0.45d_1$
螺纹的内径 d_2	$d_2 \leqslant \frac{d_1 + d_3}{2}$
变薄翻边后孔的外径	$d_3 = d_1 + 1.3t$
翻边后高度 H	$H = (2 \sim 3)t$

螺纹底孔的翻边一般适用于 M5 以下的螺纹。翻边时有两种方法，在材料性能允许的情况下，冲孔和翻边可同时进行，在一道工序中完成。否则，必须先冲孔，然后在第二道工序上翻边。

如果在级进模上翻边，最好是预先冲孔。

表 6-11 为螺纹底孔变薄翻边的经验数据。

(2) 中、大型孔的变薄翻边　中、大型孔的变薄翻边，一般采用阶梯形凸模进行翻边，如图 6-11 所示。凸模直径逐渐增大成阶梯形，第一个阶梯直径仅完成许可的翻边数值，后面的阶梯直径根据许可的变薄系数使制件直壁逐步变薄并使其高度增加。用阶梯凸模进行变薄翻边时，应有足够的压料装置，并应有良好的润滑。

表 6-11　螺纹底孔变薄翻边的经验数据

螺纹直径	t	d_0	d_1	d_3	h	r
M2	0.8 1.0	0.8	1.6	2.64 2.9	1.6 2	0.2 0.4
M2.5	0.8 1.0	1.0	2.1	3.15 3.4	1.7 2.1	0.2 0.4
M3	0.8 1.0 1.2 1.5	1.2	2.5	3.54 3.8 4.06 4.45	1.8 2.2 2.4 3.0	0.2 0.4 0.4 0.4
M4	1.0 1.2 1.5 2.0	1.6	3.3	4.6 4.86 5.25 5.9	2.4 2.8 3.3 4.2	0.4 0.4 0.4 0.6

二、外缘翻边

按变形的性质，外缘翻边可分为压缩类外缘翻边和伸长类外缘翻边，如图 6-12 所示。

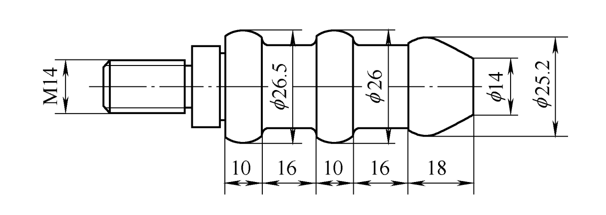


图 6-11　阶梯形凸模

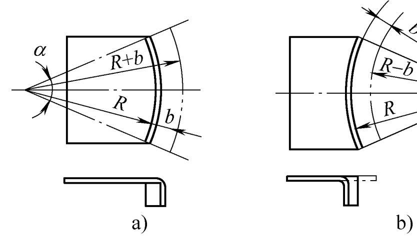


图 6-12　外缘翻边
a）压缩类外缘翻边　b）伸长类外缘翻边

1. 压缩类外缘翻边

压缩类外缘翻边如图 6-13 所示，其变形程度类似于拉深，由于是沿不封闭曲线翻边，翻边线上切向压应力和径向拉应力的分配是不均匀的，中间最大，而两端最小，且变形区主要是切向受压。为了得到翻边后竖边的高度平齐而两端线垂直的制件，必须修正毛坯的展开尺寸(图 6-13a)。压缩类外缘翻边在变形过程中，材料容易起皱，其变形程度 φ 用下式表示

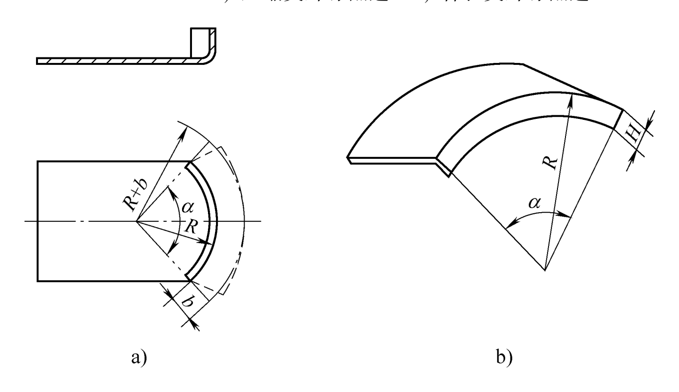


图 6-13　压缩类外缘翻边
a)压缩类平面外缘翻边　b)压缩类曲面外缘翻边

$$\varphi = \frac{b}{R+b} \tag{6-6}$$

常用材料的变形程度见表 6-12。

表 6-12　外缘翻边时常用材料的变形程度

材料名称及牌号		$\varphi_{伸}$(%)		$\varphi_{压}$(%)	
		橡皮成形	钢模成形	橡皮成形	钢模成形
铝	1035-O 1035-HX6	25 5	30 8	6 3	40 12

（续）

材料名称及牌号		$\varphi_{伸}$（%）		$\varphi_{压}$（%）	
		橡皮成形	钢模成形	橡皮成形	钢模成形
铝合金	3A21-O	23	30	6	40
	3A21-HX6	5	8	3	12
	5A02-O	20	25	6	35
	5A02-HX6	5	8	3	12
	2A12-O	14	20	6	30
	2A12-HX8	6	8	0.5	9
	2A11-O	14	20	4	30
	2A11-HX8	5	6	—	—
黄铜	H62 软	30	40	8	45
	H62 硬	10	14	4	16
	H68 软	35	45	8	55
	H68 半硬	10	14	4	16
钢	10	—	38	—	10
	20	—	22	—	10
	1Gr18Ni9 软	—	15	—	10
	1Gr18Ni9 硬	—	40	—	10
	2Gr18Ni9	—	40	—	10

2. 伸长类外缘翻边

伸长类外缘翻边如图 6-14 所示，其变形程度类似于内孔翻边，由于是沿不封闭曲线翻边，毛坯变形区内切向拉应力和切向伸长变形沿全部翻边线上的分布是不均匀的，在中部最大，而两端为零。其变形的主要特点是在切向拉应力作用下产生切向的伸长变形，边缘容易拉裂，为了得到高度平齐而两端线垂直的制件，同样必须修正毛坯展开尺寸，如图 6-14a 所示。其变形程度 φ 用下式表示



$$\varphi = \frac{b}{R-b} \qquad (6\text{-}7)$$

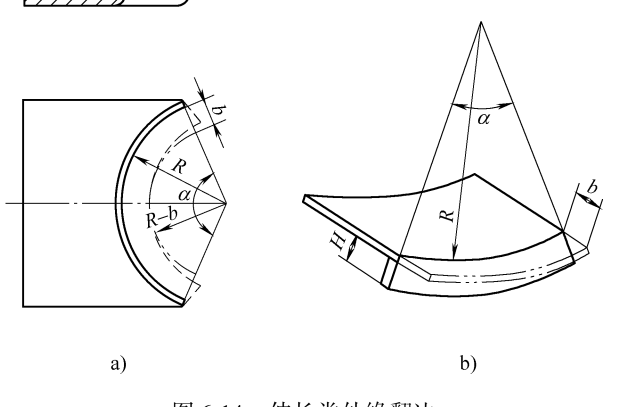


图 6-14　伸长类外缘翻边

a）伸长类平面外缘翻边　b）伸长类曲面外缘翻边

三、翻边时凸模与凹模工作部分尺寸计算

1. 翻边时凸模与凹模之间的间隙

由于在翻边过程中，材料沿切向伸长，因而端面材料变薄非常严重。其近似厚度可按下式计算

$$t_1 = t\sqrt{\frac{d_0}{D}} = t\sqrt{m} \qquad (6\text{-}8)$$

式中　t_1——翻边后材料厚度（mm）；

t——翻边前材料厚度（mm）；

m——翻边系数。

在平面毛坯翻边时，凸模和凹模之间的单面间隙见表 6-13，在拉深件底部翻边时凸模和凹模之间的间隙见表 6-14。

表 6-13　平面毛坯翻边时凸模和凹模之间的单边间隙

（单位：mm）

翻边前的材料厚度 t	单边间隙 z
0.30	0.25
0.50	0.45
0.70	0.60
0.80	0.70
1.00	0.85
1.20	1.00
1.50	1.30
2.00	1.70

表 6-14　拉深件底部翻边时凸模和凹模之间的单边间隙

（单位：mm）

翻边前的材料厚度 t	单边间隙 z
0.80	0.60
1.00	0.75
1.20	0.90
1.50	1.10
2.00	1.50

2. 翻边时凸模和凹模尺寸的计算（图 6-15 和表 6-15）

表 6-15　翻边时凸模和凹模尺寸的计算

计算内容	计算公式
凸模尺寸 D_p	$D_p=(D_{min}+X\Delta)_{-\delta_p}^{0}$
凹模尺寸 D_d	$D_d=(D_{min}+X\Delta+2z)_{0}^{+\delta_d}$

注：式中　D_{min}——制件下极限尺寸（mm）；

Δ——制件公差（mm）；

z——单边间隙（mm）；

δ_p、δ_d——凸模和凹模制件偏差（mm）；

X——系数，制件精度在 IT11 以上，取 $X=1\sim1.2$；制件精度在 IT12～IT13，取 $X=0.8\sim1$；制件精度在 IT14 以下，取 $X=0.6\sim0.75$。

图 6-15　翻边时凸模和凹模的尺寸

3. 翻边时凸模和凹模的形状和尺寸（表 6-16）

表 6-16　翻边时凸模和凹模的形状和尺寸

图　例	应　用
$r\geqslant4t$，D_p	平底凸模，一般用于孔径较大时的翻边，圆角 $r\geqslant4t$
SRT，D_p	球形凸模，用于中小型孔的翻边，翻边效果比平底凸模好
$R\approx t$，$r_1=2D_p$，$r_2=0.3D_p$，D_p，$\geqslant5R$，$r_3=0.5$	抛物线形凸模，制造困难，但翻边效果最好，用于小型孔翻边
D_p，d_0，25°，30°，$\geqslant5R$，$R\approx t$，$r=0.5$	用于以预冲孔定位，且孔径大于 10mm 孔的翻边
d_0，D_p，120°	用于以预冲孔定位，且孔径小于 10mm 孔的翻边
$r=0.6(D_p-d_0)$，D_p，d_0，120°	用于没有预冲孔翻边时的凸模，翻边后孔口边缘允许有裂口存在
t，d_0，D_p，D_d，r	凹模圆角半径一般对翻边成形影响不大，可取凹模圆角半径等于制件圆角半径

四、翻边模

图 6-16 所示为用预冲孔定位的小孔翻边模。将制件预冲孔套在翻边凸模 8、26 端面小直径上以孔定位，当压力机下行时，翻边凸模伸入翻边凹模 20、23 中翻边成形。由于翻边后孔会紧紧箍在翻边凸模上，因而由卸料板 9、弹簧 28、卸料螺钉 29 组成的卸料装置将翻边后的孔从凸模上顶出去。由于翻孔精度较高，采用小间隙翻边，从凸模上顶出的制件也可能卡在凹模内。因此由推件块 10、连接推杆 11、推板 15、打杆 13 组成的推件装置将制件从凹模内推出。

图 6-17 所示为用于靠拉深件内形定位的中、大型孔翻边模。将拉深件套在翻边凹模 5 的外缘上定位，翻边后由卸料板 9、卸料螺钉 12、弹簧 11 组成的卸料装置将制件从凸模 13 上卸下

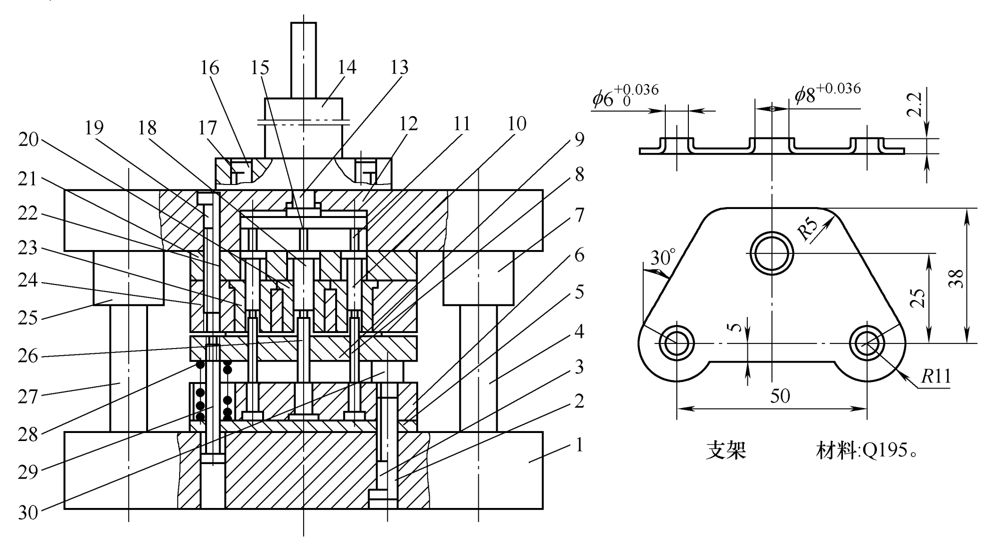


图 6-16　预冲孔定位小孔翻边模

1—下模座　2、16、22—销　3、17、19—螺钉　4、27—导柱　5、21—垫板　6、24—固定板　7、25—导套　8、26—翻边凸模　9—卸料板　10、18—推件块　11—连接推杆　12—上模座　13—打杆　14—模柄　15—推板　20、23—翻边凹模　28—弹簧　29—卸料螺钉　30—小导柱

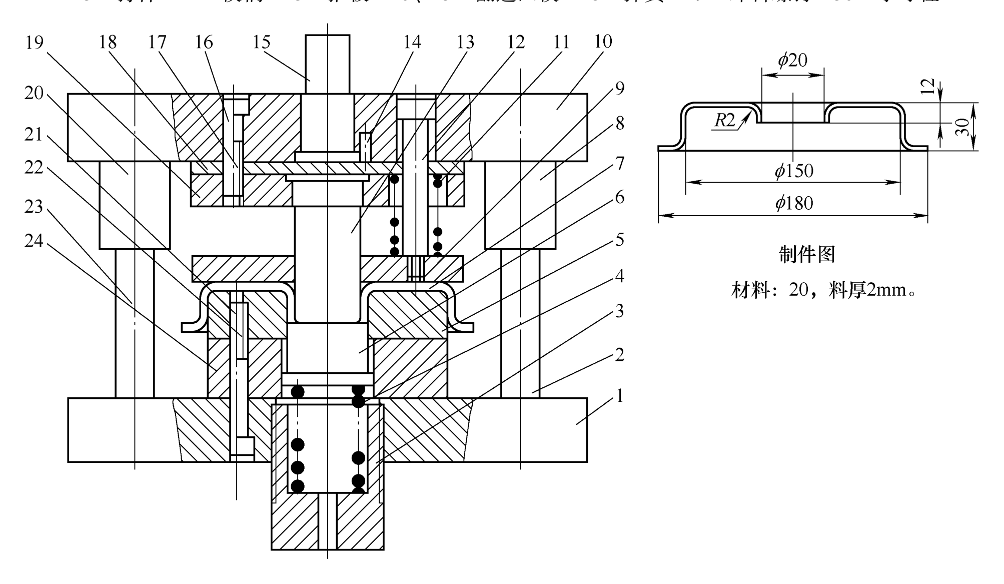


图 6-17　靠拉深件内形定位的中、大型孔翻边模

1—下模座　2、23—导柱　3—支座　4、11—弹簧　5—凹模　6—顶件块　7—制件　8、20—导套　9—卸料板　10—上模座　12—卸料螺钉　13—凸模　14、16、21—销　15—模柄　17、22—螺钉　18、24—垫板　19—固定板

来。然后由顶件块6、弹簧4、支座3组成的顶件装置将制件从凹模中顶出。

图6-18所示为落料、拉深、冲孔翻边制件，图6-19所示为落料、拉深、冲孔、翻边复合模。当上模下行时，落料凹模6和落料拉深凸凹模7落料，紧接着落料拉深凸凹模7和拉深翻边凸凹模37进行拉深。同时凸模34和冲孔翻边凸凹模29冲孔后，接着冲孔翻边凸凹模29和凸凹模拉深翻边37进行翻边，接着成形板33进行压形，当成形板33和冲孔翻边凸凹模29下面接触，将对制件进行整形。

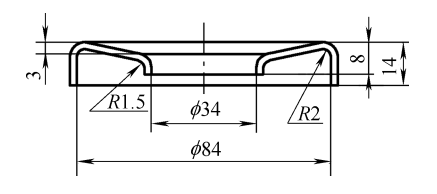


图6-18　落料、拉深、冲孔翻边制件

上模回升时，装在下模的顶件装置，通过顶杆40、41，顶件块35、36将制件从拉深翻边凸凹模37中向上顶出。紧接着通过打杆22、推板44、成形板33将冲孔废料和制件向下推出。由于冲孔废料可能吸附在推板44上，故在推板44上加推杆16和橡胶26组成的推件装置。

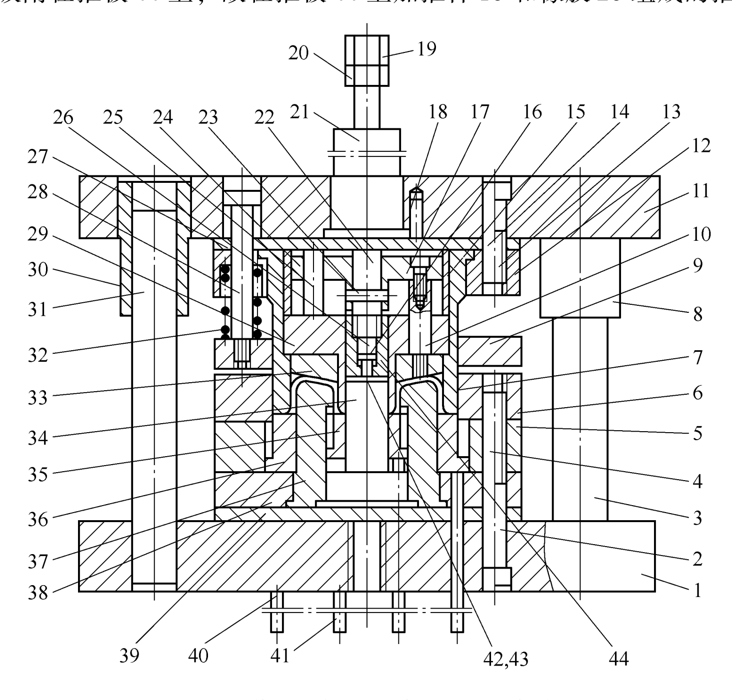


图6-19　落料、拉深、冲孔、翻边复合模

1—下模座　2、13、17—螺钉　3、31—导柱　4、14、18、23—销　5—中垫板　6—落料凹模　7—落料拉深凸凹模　8、30—导套　9—弹压卸料板　10—连接推杆　11—上模座　12、38—凸凹模固定板　15—垫圈　16—推杆　19、20—螺母　21—模柄　22—打杆　24—推板　25—支承销　26—橡胶　27、39—垫板　28—卸料螺钉　29—冲孔翻边凸凹模　32—弹簧　33—成形板　34—凸模　35、36—顶件块　37—拉深翻边凸凹模　40、41—顶杆　42—导料销　43—挡料销　44—推板

第三节　胀　　形

将拉深成形的筒形件或管状毛坯，利用模具使其内部在双向拉应力的作用下，产生塑性变形，取得凸肚形制件的冲压工序称为胀形。

一、胀形的变形程度

胀形变形的特点主要是材料受切向拉伸伸长变形，其变形程度用胀形系数K表示，如图6-20所示。

$$K=\frac{d_{max}}{d_0} \tag{6-9}$$

式中　d_{max}——胀形后制件最大尺寸(mm)；

d_0——毛坯直径(mm)；

K——胀形系数。

胀形系数 K 和毛坯材料伸长率 δ 的关系为

$$\delta=\frac{d_{max}-d_0}{d_0}=K-1$$

或

$$K=1+\delta \tag{6-10}$$

表 6-17 为材料许用伸长率和胀形系数，表 6-18 为铝管毛胚的实验胀形系数。

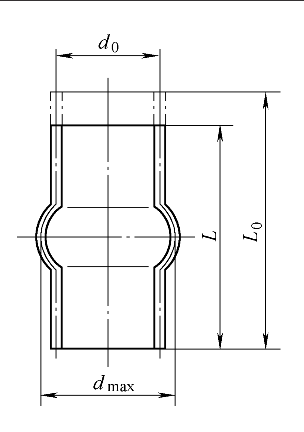


图 6-20　胀形

表 6-17　材料许用伸长率和胀形系数

材料	厚度/mm	许用伸长率[δ](%)	胀形系数 K
铝合金 3A21-0	0.5	25	1.25
铝板 1070A、1060 1050A、1035 1200、1235	1.0 1.5 2.0	28 32 32	1.28 1.32 1.32
黄铜 H62、H68	0.5～1.0 1.5～2.0	35 40	1.35 1.40
低碳钢 08F、10、20	0.5 1.0	20 24	1.20 1.24
耐热不锈钢 1Cr18Ni9Ti	0.5 1.0	26 28	1.26 1.28

表 6-18　铝管毛坯的实验胀形系数

胀形毛胚	胀形系数 K
简单的橡皮胀形	1.20～1.25
带轴向压缩毛坯的橡皮胀形	1.60～1.70
局部加热到 200～250℃的胀形	2.00～2.10
用锥形凸模加热到 380℃的边缘胀形	3.00

二、毛坯尺寸计算

胀形制件毛坯尺寸计算如下，如图 6-21 所示

毛坯直径
$$d_0=\frac{d_{max}}{K} \tag{6-11}$$

毛坯长度
$$L_0=L[1+(0.3\sim0.4)\delta]+b \tag{6-12}$$

式中　L——制件素线长度(mm)；

δ——材料圆周方向最大伸长率(%)；

b——修边余量，一般取 5～15mm。

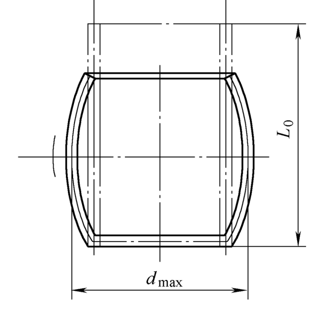


图 6-21　胀形毛坯尺寸计算

三、胀形方法(表 6-19)

四、胀形模

图 6-22 所示为拉深件中间胀形模，筒形拉深件放置在下凹模 8 内并由它定位。当压力机下行时，凸模 17 先插入毛坯内，毛坯在上凹模 9 和下凹模 8 及凸模 17 的夹持下进行镦压，以保证筒壁的稳定性，毛坯在中部型腔处胀出成形。当压力机回程时，由专用顶件装置通过连接顶杆 21 迫使顶件柱 5 将制件从下凹模内顶出，接着由打杆 13 通过推件柱 16 将制件从上凹模内推出。

图 6-23 所示为聚氨酯橡胶胀形模，该模具装在双动压力机上工作。凹模 7 由三块组成，在

表 6-19　胀形方法

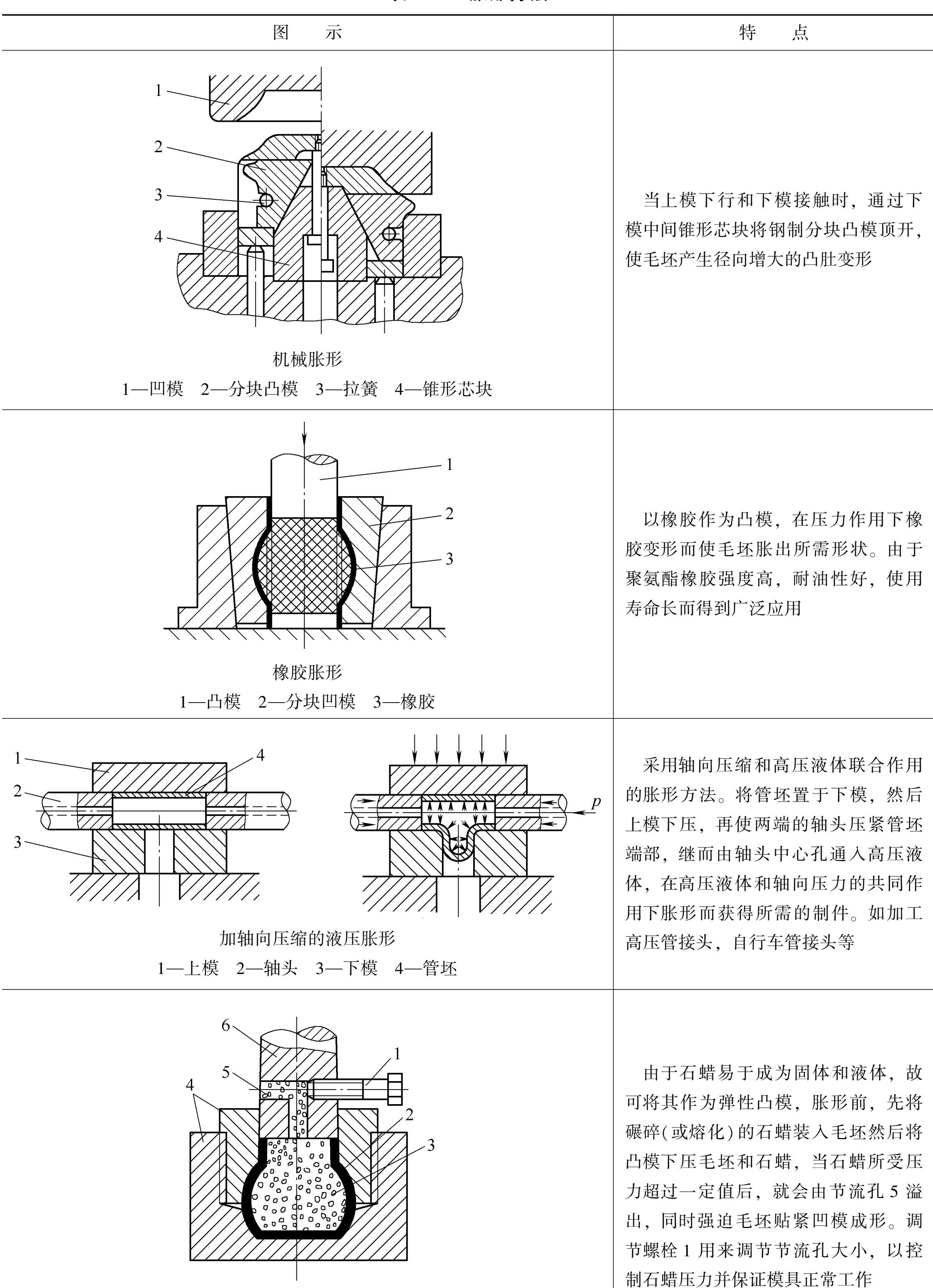


图　　示	特　　点
机械胀形 1—凹模　2—分块凸模　3—拉簧　4—锥形芯块	当上模下行和下模接触时，通过下模中间锥形芯块将钢制分块凸模顶开，使毛坯产生径向增大的凸肚变形
橡胶胀形 1—凸模　2—分块凹模　3—橡胶	以橡胶作为凸模，在压力作用下橡胶变形而使毛坯胀出所需形状。由于聚氨酯橡胶强度高，耐油性好，使用寿命长而得到广泛应用
加轴向压缩的液压胀形 1—上模　2—轴头　3—下模　4—管坯	采用轴向压缩和高压液体联合作用的胀形方法。将管坯置于下模，然后上模下压，再使两端的轴头压紧管坯端部，继而由轴头中心孔通入高压液体，在高压液体和轴向压力的共同作用下胀形而获得所需的制件。如加工高压管接头，自行车管接头等
石蜡胀形 1—调节螺栓　2—毛坯　3—石蜡　4—凹模　5—节流孔　6—凸模	由于石蜡易于成为固体和液体，故可将其作为弹性凸模，胀形前，先将碾碎(或熔化)的石蜡装入毛坯然后将凸模下压毛坯和石蜡，当石蜡所受压力超过一定值后，就会由节流孔 5 溢出，同时强迫毛坯贴紧凹模成形。调节螺栓 1 用来调节节流孔大小，以控制石蜡压力并保证模具正常工作

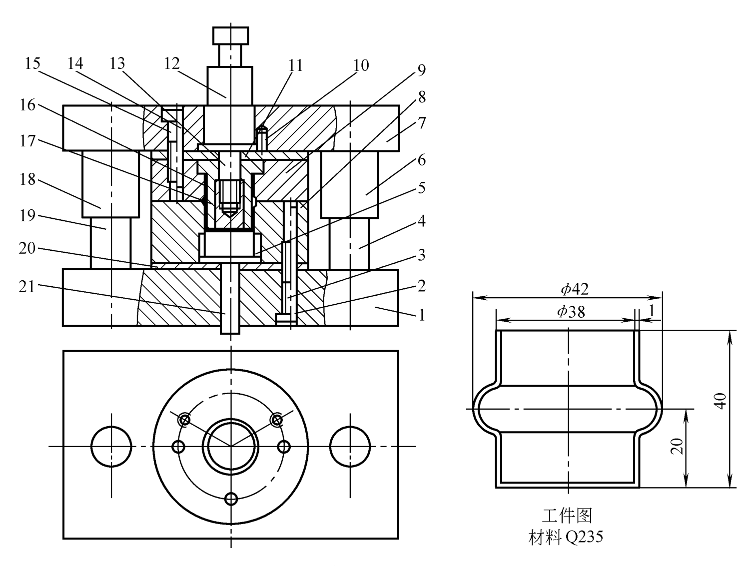


图 6-22　拉深件中间胀形模

1—下模座　2、10、14—销　3、15—螺钉　4、19—导柱　5—顶件柱　6、18—导套　7—上模座　8—下凹模　9—上凹模　11、20—垫板　12—模柄　13—打杆　16—推件柱　17—凸模　21—连接顶杆

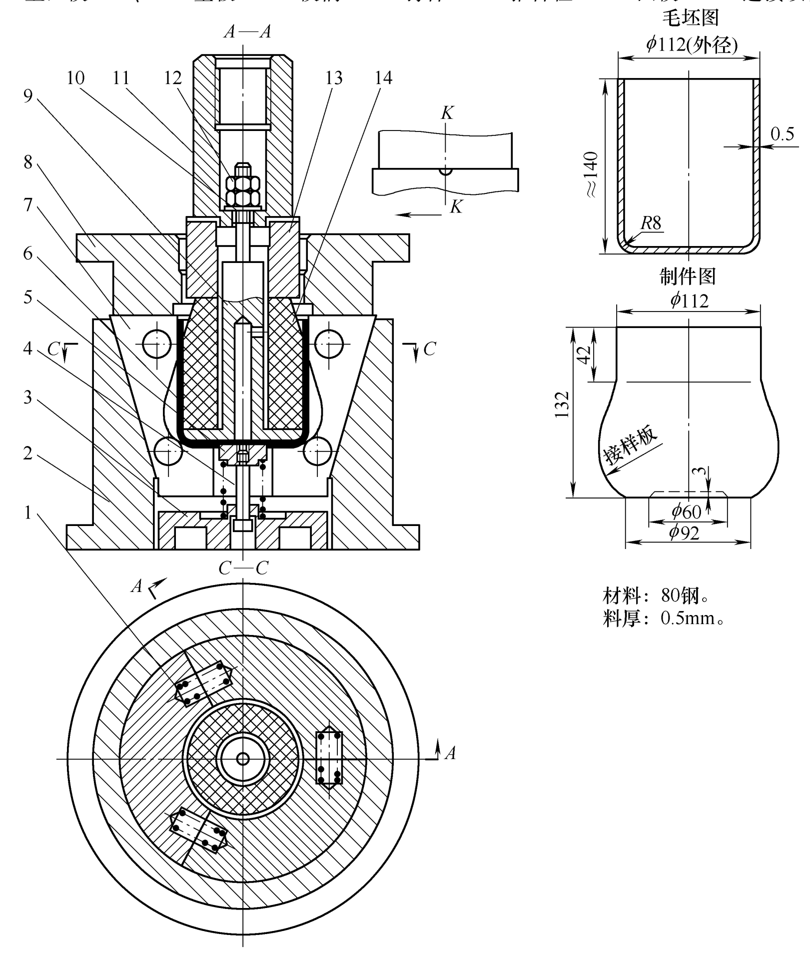


图 6-23　聚氨酯橡胶胀形模

1、4—弹簧　2—下模座　3—支板　5—螺钉　6—托板　7—凹模　8—压边圈　9—定位芯轴　10—垫圈　11—模柄　12—螺母　13—压圈　14—橡胶凸模

接合面处分别有两个弹簧1使之张开，凹模外壁做成锥面与下模座2的锥面接触。橡胶凸模14由定位芯轴9紧固在模柄11上。将毛坯放在凹模内，装在外滑块上的压边圈8先下行压紧凹模使之合拢，然后停止不动。装在内滑块上的模柄下行，定位芯轴9下端先压住毛坯，模柄11继续下行并通过压圈13将橡胶凸模14压缩张开使筒形毛坯胀形。当外，内滑块上升，托板6在弹簧4的作用下顶起，凹模也在弹簧1的作用下张开上升，从而将制件取出。

图6-24是液压胀形模，由下模座2、缸套3、缸盖7组成气缸。活塞11的顶端有斜楔圈16，三瓣环座9的斜面与斜楔圈接触，每瓣环座由导轨33导向，能在下模座2的顶面上滑动，平时环座在弹簧29的作用下被张开。每瓣环座上都有两个压槽的环，下环12固定在环座上，上环23则由两空心导柱15导向，平时被弹簧10顶起，能上下滑动。上环的斜面与锥环20的斜面吻合，锥环20平时也被弹簧14顶起，直至接触上盖19为止。顶杆22顶面紧固凸模28和凸模25。

工作开始时，气缸上端（D处）通入压缩空气，活塞11下行到最低位置，此时环座张开，毛坯套在凸模28上（图6-24a）。然后气缸下端（C处）通入压缩空气，于是活塞上行通过锥面推动三瓣环座收拢，于是上、下环收拢，下环压住毛坯（图6-24右半部）。上环在弹簧10的作用下顶起，为了使三瓣上环对齐，相接处有圆柱销定位。此时对毛坯内腔进行充油，油系以专门充油器（图6-24e）以定量油从A处注入，接着上凸模26下行进行胀形，此时上环产生很大径向力；为了避免径向力传到空心导柱15上产生卡死现象，此径向力由锥环承受，上凸模下压胀形加剧，上环连同锥环也随之下行（图6-24b），直至压成所需的双槽带轮（图6-24左半部）。此时，由于

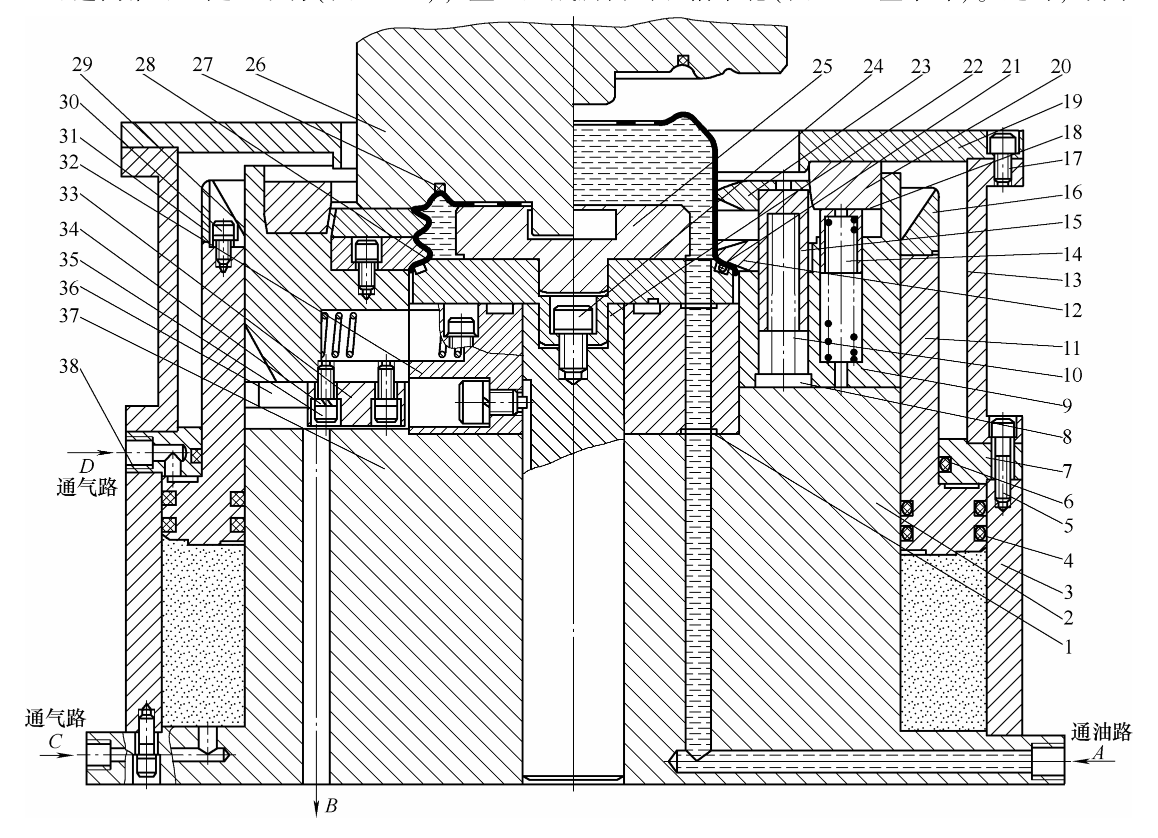


图6-24　液压胀形模

1、4、6、21、27—密封圈　2—下模座　3—缸套　5、17、24、30、35—螺钉　7—缸盖　8、38—垫　9—三瓣环座　10、14、29—弹簧　11—活塞　12—下环　13—圈　15—空心导柱　16—斜楔圈　18—套　19—上盖　20—锥环　22—顶杆　23—上环　25—凸模　26—上凸模　28—凸模　31、34—垫圈　32、37—支座　33—导轨　36—压板

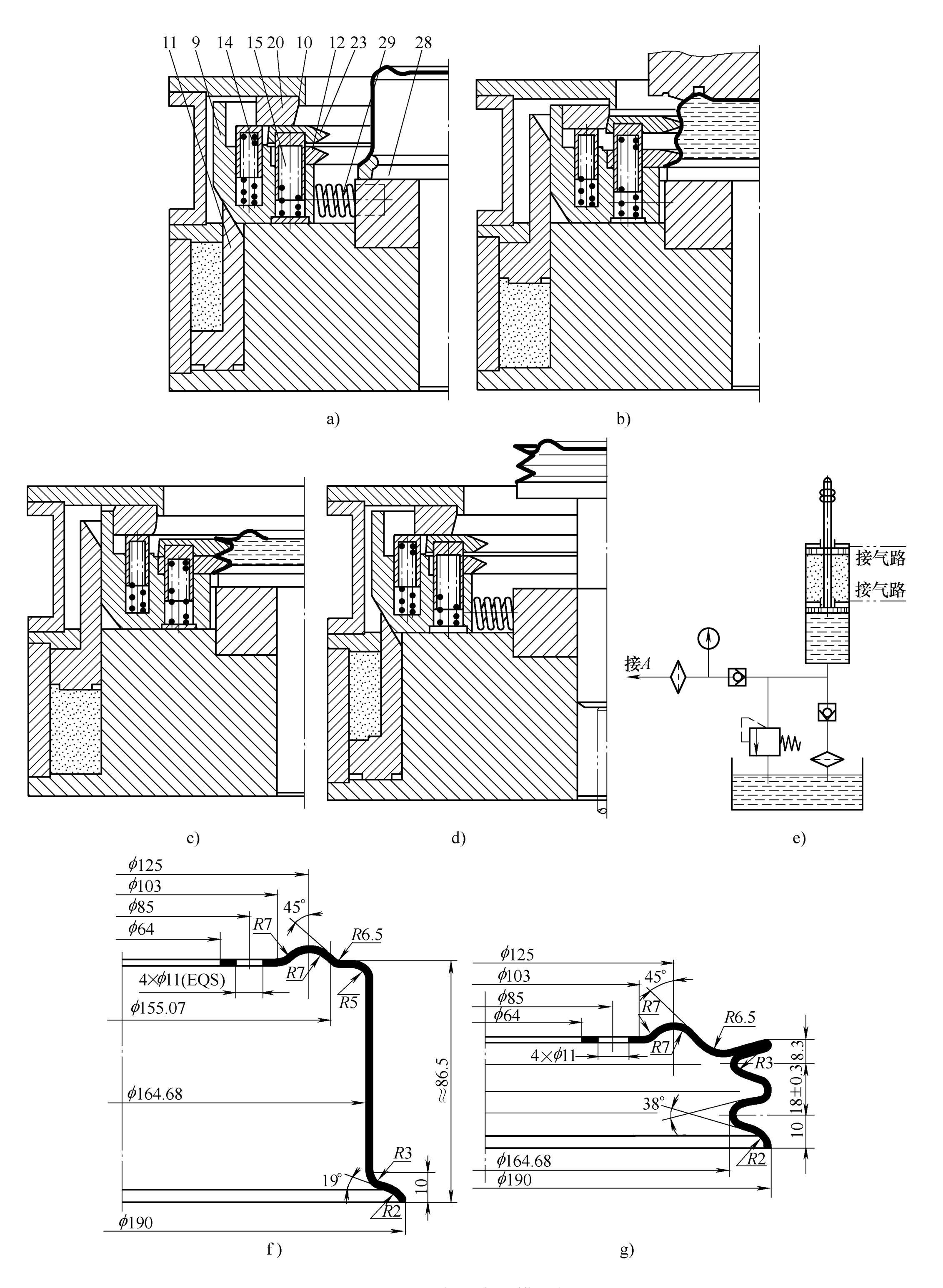


图 6-24　液压胀形模(续)

上凸模压住上环，使上环 23 与锥环 20 分离，于是锥环在弹簧 14 的作用下立即被顶起(图 6-24c)；让气缸上端通入压缩空气，活塞 11 下行，三瓣环座 9 在弹簧 29 的作用下张开，上、下环脱离制件。顶杆 22 通过顶件装置将制件顶起(图 6-24d)，此时用过的油从下模座的排油孔 B 流

回储油箱内。图 6-24f 所示为毛坯图，图 6-24g 所示为制件图。

第四节　缩　　口

缩口是将管状毛坯或拉深成形的筒形件通过缩口模将其口部直径缩小的一种成形工艺。

一、缩口变形特点及变形程度

缩口时，变形区内的金属受切向压应力和轴向压应力，且主要是受切向压应力的作用，使直径缩小，壁厚和高度增大，因而容易失稳起皱。由于承受缩口压力 F，也容易产生轴向失稳变形。因此，防止失稳是缩口工艺的主要问题，缩口变形程度用缩口系数 m 表示(图 6-25)。

$$m = \frac{d}{D} \tag{6-13}$$

式中　d——缩口后的直径(mm)；

D——缩口前的直径(mm)；

缩口系数 m 一般与材料种类、材料厚度、模具结构类型及毛坯表面质量有关。

表 6-20 列出了不同材料、不同支承方式的平均缩口系数。表 6-21 列出了薄材料无支承的平均缩口系数。

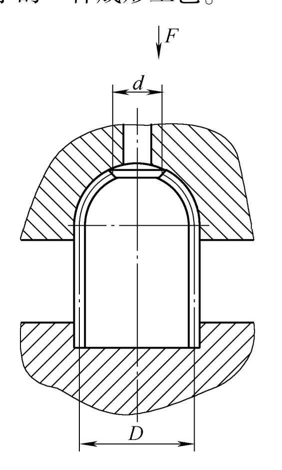


图 6-25　缩口

表 6-20　不同材料不同支承的平均缩口系数 m_0

材料名称	支承方式		
	无支承	外部支承	内外支承
低碳钢	0.70 ~ 0.75	0.55 ~ 0.60	0.30 ~ 0.35
黄铜 H62、H68	0.65 ~ 0.70	0.50 ~ 0.55	0.27 ~ 0.32
铝合金	0.68 ~ 0.72	0.53 ~ 0.57	0.27 ~ 0.32
硬铝合金(退火)	0.73 ~ 0.80	0.60 ~ 0.63	0.35 ~ 0.40
硬铝合金(淬火)	0.75 ~ 0.80	0.68 ~ 0.72	0.40 ~ 0.43

表 6-21　薄材料无支承的平均缩口系数 m

材料名称	材料厚度	
	≤0.5mm	>0.5 ~ 1mm
黄铜 H62、H68	0.85	0.86 ~ 0.70
低碳钢	0.85	0.75

二、缩口工艺计算

1. 缩口次数、缩口直径及颈部厚度计算(表 6-22)

2. 缩口毛坯高度计算(表 6-23)

3. 缩口力计算

在无支承的缩口模中按下式计算制件的缩口力 F

$$F = (2.4 \sim 3.4)\pi t R_m (D - d) \tag{6-14}$$

式中　t——材料厚度(mm)；

R_m——材料抗拉强度(mm)；

D——毛坯直径(mm)；

d——缩口部分直径(mm)。

其余形式的缩口力可比上式计算值稍大些。

表 6-22　缩口次数、缩口直径及颈部厚度计算

计算内容	计算公式
缩口次数	$n=\dfrac{\lg m}{\lg m_0}$
缩口直径	$d_1=m_1D$ $d_2=m_nd_1=m_1m_nD$ $d_3=m_nd_2=m_1m_n^2D$ $\vdots$ $d_n=m_nd_{n-1}=m_1m_n^{n-1}D$
颈部厚度	$t_1=t\sqrt{\dfrac{D}{d}}$

注：式中　m——总缩口系数，当总缩口系数小于表 6-20 和表 7-21 的平均缩口系数时，就需要进行多次缩口；

m_0——平均缩口系数；

m_1——首次缩口系数，取 $m_1=0.9m_0$；

m_n——以后各次缩口系数，取 $m_n=(1.05\sim1.10)m_0$；

d_1，d_2，…，d_n——每次缩口后的直径，d_n 应等于颈口直径(mm)；

t——缩口前毛坯直径(mm)；

D——制件毛坯厚度(mm)；

d——缩口后直径(mm)。

表 6-23　缩口毛坯高度计算

制件形状	计算公式
d, α, t_1, H, h_1, t, D	$H=(1\sim1.05)\left[h_1+\dfrac{D^2-d^2}{8D\sin\alpha}\left(1+\sqrt{\dfrac{D}{d}}\right)\right]$
d, t_1, α, h_2, H, t, h_1, D	$H=(1\sim1.05)\left[h_1+h_2\sqrt{\dfrac{d}{D}}+\dfrac{D^2-d^2}{8D\sin\alpha}\left(1+\sqrt{\dfrac{D}{d}}\right)\right]$
d, h, h_1, H, t, D	$H=h_1+\dfrac{1}{4}\left(1+\sqrt{\dfrac{D}{d}}\right)\sqrt{D^2-d^2}$

注：一般取 $\alpha<45°$，最好 α 在 30°以下，这时缩口系数可减小 10% ~15%。

三、缩口模

缩口模结构型式见表 6-24。

表 6-24　缩口模结构型式

结构型式	图示	特点
无支承		模具结构简单，但缩口时毛坯稳定性差，缩口系数较大
外支承		模具结构较复杂，稳定性较好，缩口系数可小些
内外支承		模具结构较上述复杂，但稳定性更好，缩口系数可更小些

图 6-26 所示为带自动夹紧装置的缩口模，当压力机滑块下行时，活动夹圈 5 在斜楔 3 的作

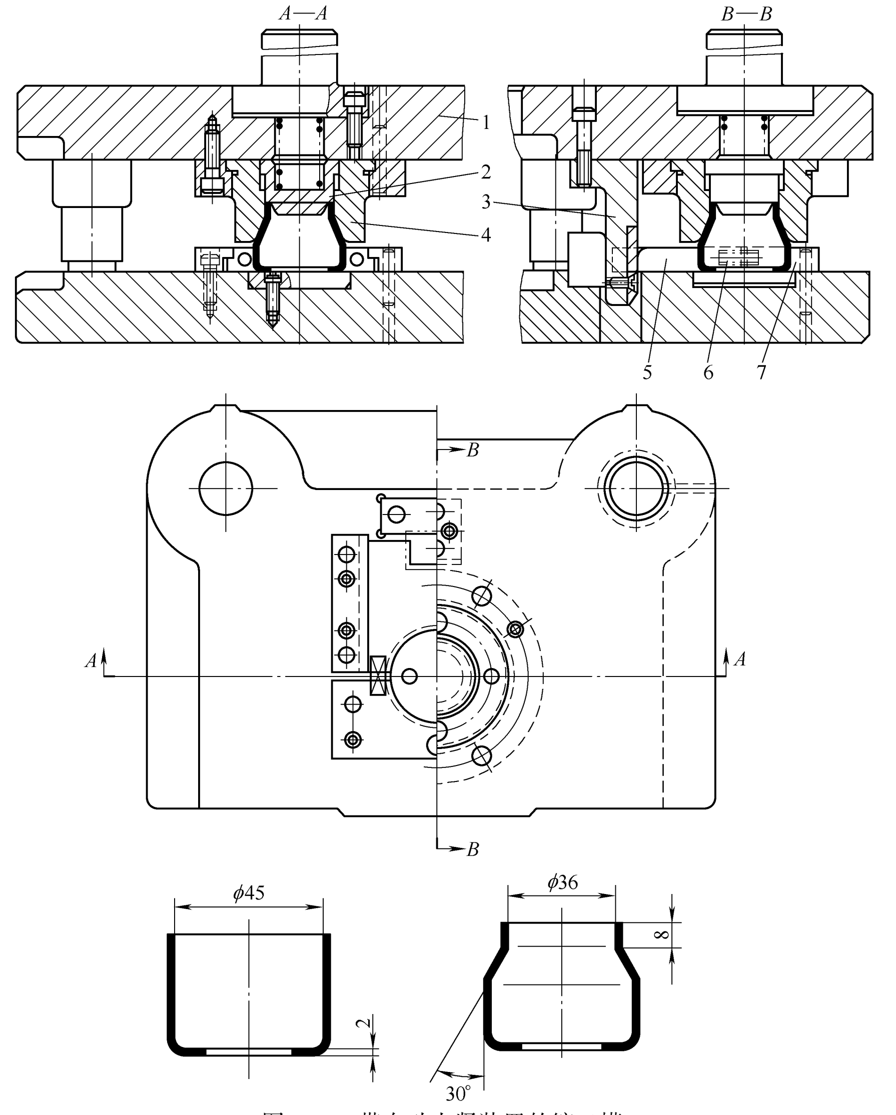


图 6-26　带自动夹紧装置的缩口模

1—上模座　2—推件块　3—斜楔　4—凹模　5—活动夹圈　6—弹簧　7—固定夹圈

用下右移，使工序件在活动夹圈 5 和固定夹圈 7 之间夹紧，接着工序件在凹模 4 的作用下逐渐缩口。为了保证颈部内径达到图样要求，推件块 2 具有锥度不大的凸台，为保证制件质量，应使推件块 2 与上模座 1 相接触而对制件进行整形。

若缩口的程度不大，推件块 2 可不带锥度凸台，也不用整形。当压力机滑块上行时，活夹圈 5 和固定夹圈 7 在弹簧 6 的作用下松开。

图 6-27 所示为外支承缩口模，管子毛坯放在支座 3 内，并由弹性夹 16 定位，支座还起支承作用，凹模 15、垫板 14 用螺钉和销固定在上模座 7 上，缩口后制件由打杆 13 从凹模中推出。

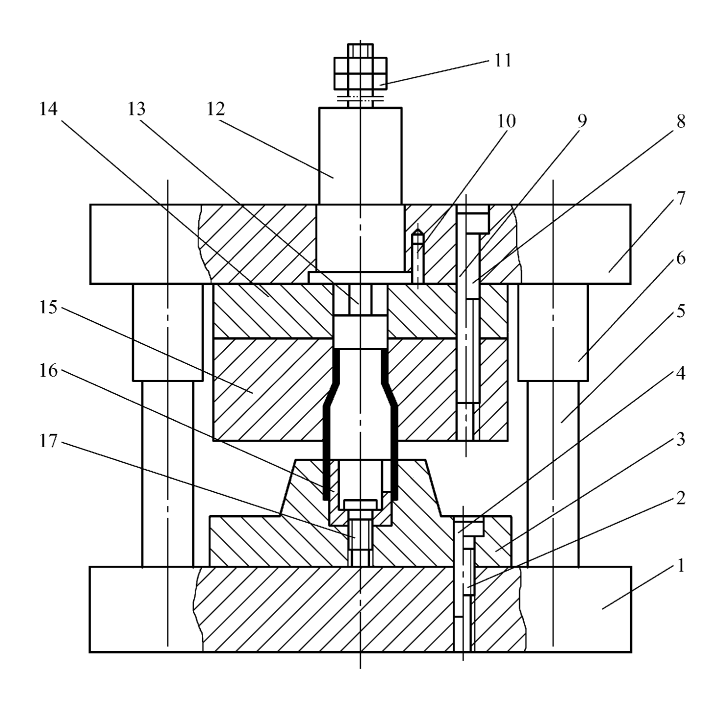


图 6-27　外支承缩口模

1—下模座　2、8、17—螺钉　3—支座　4、9、10—销　5—导柱　6—导套
7—上模座　11—螺母　12—模柄　13—打杆　14—垫板　15—凹模　16—弹性夹头

第五节　校　　形

校形通常指对冲裁件的校平和弯曲、拉深件的整形。因此，校形工序一般在冲裁、弯曲、拉深工序之后进行。

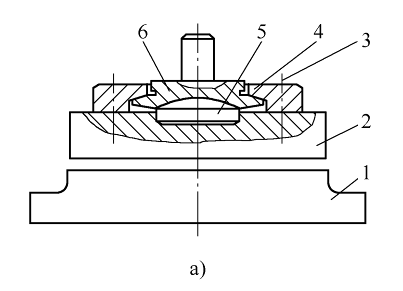
一、校平

校平根据材料厚度及表面是否允许压痕分为光面校平和齿形校平。

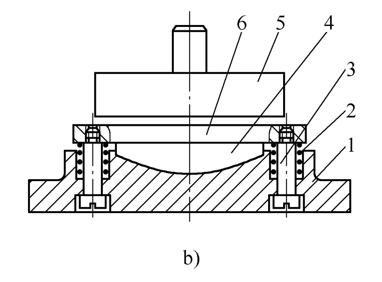
对于薄而软的材料，一般采用光面校平。为使校平不受压力机滑块导向精度的影响，校平模最好采用浮动上模或浮动下模，如图 6-28 所示。图 6-28a 所示为采用浮动模柄结构，图 6-28b 所示为采用浮动球形下模结构。

对于厚而硬的材料，通常采用齿形模校平。齿形有光齿和平齿两种，光齿适用于材料比较厚，而且在制件表面允许有印痕的制件。尖齿齿形如图 6-29a 所示，齿尖应磨钝；平齿齿形如图 6-29b 所示，适用于材料厚度较小的制件，以及铝、黄铜、青铜等。

校平时，上、下齿形均应互相错开



a)



b)

图 6-28　校平模

a）浮动模柄结构

1—下模　2—上模　3—螺钉　4—锥面压圈　5—凸球面垫块　6—凹球面模柄

b）浮动球形下模结构

1—下模　2—弹簧　3—卸料螺钉　4—凸球面下模　5—上模　6—限位圈

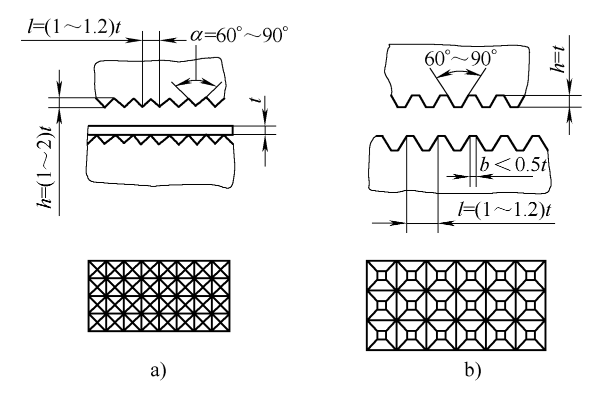


图 6-29　齿形校平模

a）尖齿齿形　b）平齿齿形

校平力 F 按下式计算

$$F = AP \tag{6-15}$$

式中　A——校平制件面积（mm^2）；

P——校平单位压力（MPa），见表 6-25。

表 6-25　校平和整形单位压力

方法	单位压力 P/MPa	附注
光面校平模校平	80～100	用于薄料
尖齿校平模校平	100～200	用于厚料，表面允许有细痕
平齿校平模校平	200～300	用于厚料，表面不允许有深痕
拉深、弯曲件整形	150～200	

二、整形

弯曲件由于弯曲后回弹使尺寸达不到设计要求，或者圆角半径太大。拉深件拉深后尺寸精度达不到要求或圆角半径太大，凸缘不够平整等，都需要通过整形来达到设计要求；因此，整形模和先行工序成形模大体相似，只是圆角半径和间隙较小。

对于弯曲件，一般采用镦压整形，直筒拉深件常采用小间隙 $z = (0.9 \sim 0.95)t$ 的整形，对带凸缘拉深件，一般对圆角和凸缘进行镦压整形。

第七章　冷　挤　压

第一节　冷挤压分类

根据冷挤压时金属流动的方向和凸模运动方向的关系，冷挤压可分为正挤压、反挤压、复合挤压、径向挤压。

1. 正挤压

正挤压时，金属的流动方向与凸模运动方向相同。图 7-1a 所示为正挤压实心制件的情况，图 7-1b 所示为正挤压空心制件的情况，图 7-2 所示为正挤压件示例。

2. 反挤压

反挤压时，金属流动的方向与凸模运动的方向相反，图 7-3 所示为反挤压件示例，图 7-4 所示为反挤压示意图。

3. 复合挤压

复合挤压时，金属朝凸模运动方向和运动相反方向同时流动，图 7-5 所示为复合挤压示意图，图 7-6 所示为复合挤压件示例。

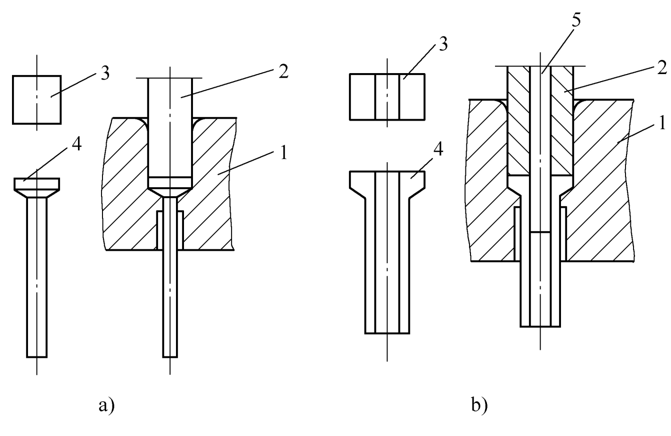


图 7-1　正挤压示意图

a) 正挤压实心制件　b) 正挤压空心制件

1—凹模　2—凸模　3—毛坯　4—制件　5—芯轴

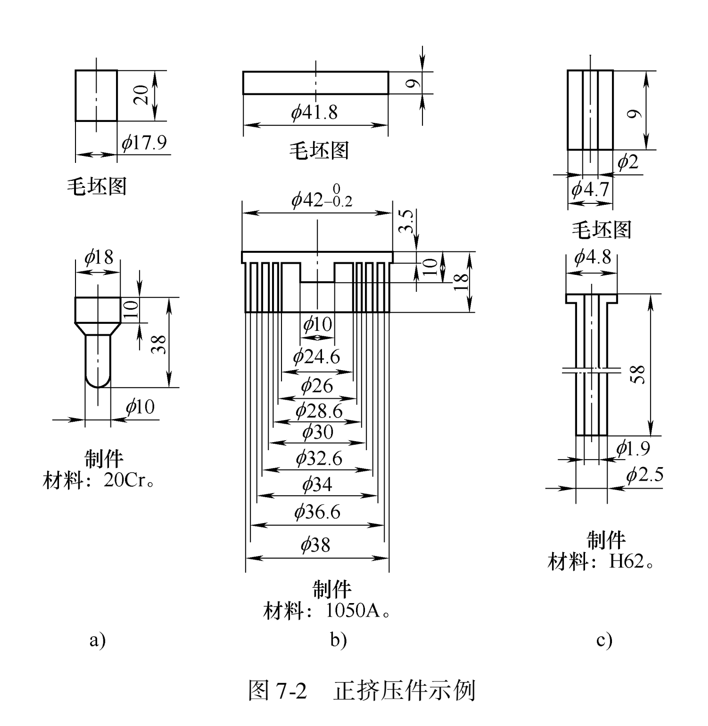


图 7-2　正挤压件示例

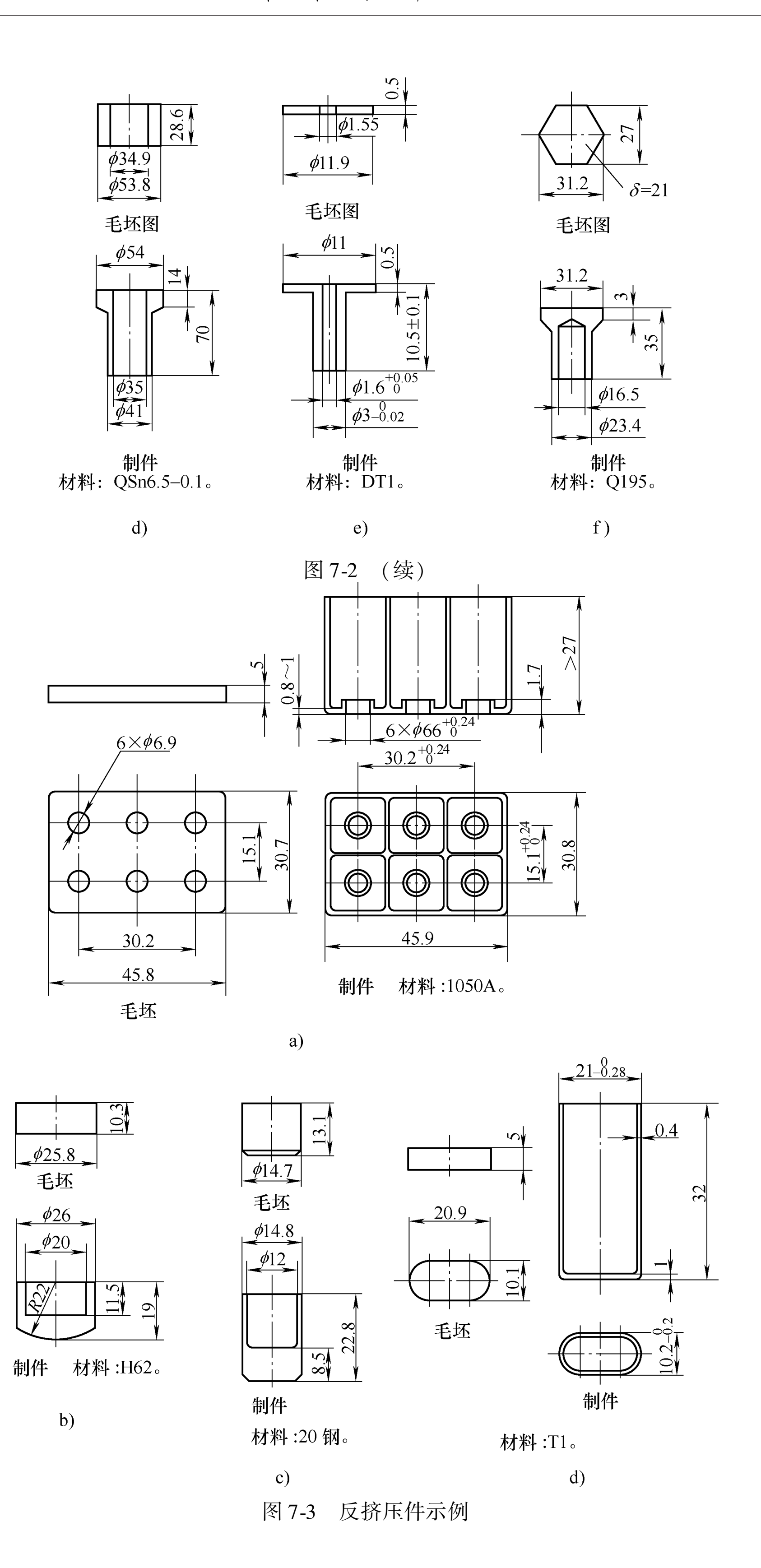


图 7-2 （续）

图 7-3　反挤压件示例

图 7-4　反挤压示意图

1—凹模　2—凸模　3—毛坯　4—制件

图 7-5　复合挤压示意图

1—凹模　2—凸模　3—毛坯　4—制件　5—顶杆

a)　b)　c)　d)

图 7-6　复合挤压件示例

4. 径向挤压

径向挤压时，金属流动的方向与凸模运动的方向垂直，图 7-7 所示为径向挤压示意图，图 7-8 所示为径向挤压件示例。

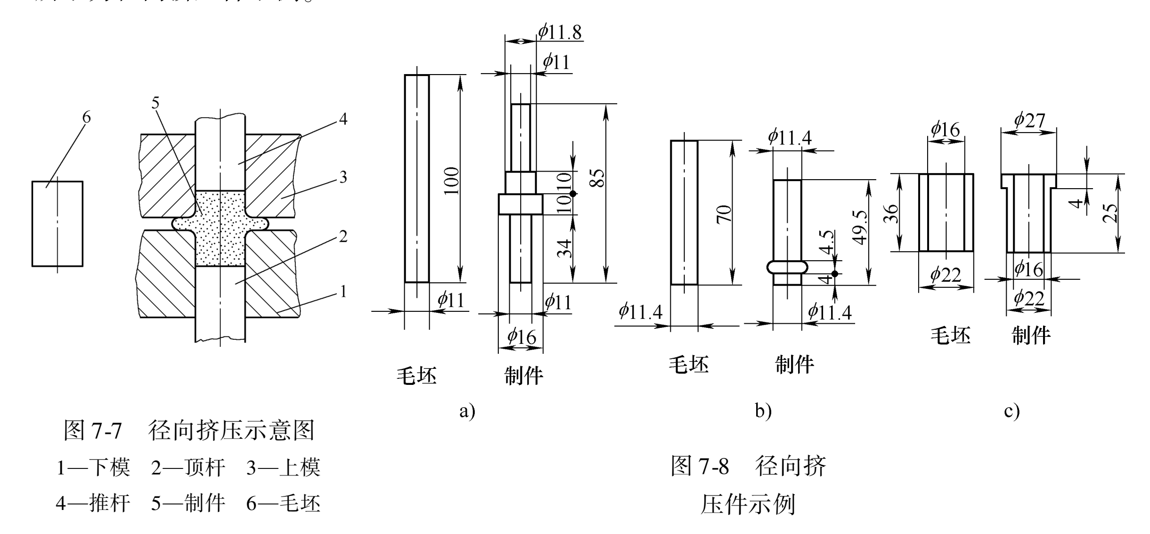


图 7-7　径向挤压示意图

1—下模　2—顶杆　3—上模　4—推杆　5—制件　6—毛坯

图 7-8　径向挤压件示例

第二节 冷挤压件毛坯的确定

一、适用于冷挤压的材料

用于冷挤压的材料要求强度、硬度低，硬化模数小，塑性要好，化学成分要求严格，钢中含磷、硫量低。目前碳的质量分数在 0.35% 以下的碳钢，以及含 $w(\mathrm{Mn})<1.5\%$、$w(\mathrm{Ni})<0.75\%$、$w(\mathrm{Cr})<1.5\%$、$w(\mathrm{Mo})=0.5\%$、$w(\mathrm{Si})<0.3\%$ 的低合金钢以及表 7-1 所列的非铁金属都适合冷挤压。

表 7-1 适合冷挤压的材料

材料	牌号
碳素结构钢	Q195、Q215、Q235、Q255、Q275
优质碳素结构钢	08F、10F、15F、08、10、15、20、25、30、35、40、45、50、15Mn、20Mn
合金结构钢	20MnV、20MnVB、15Cr、20Cr、30Cr、40Cr、30CrMnSiA、35CrMnSiA
不锈钢	0Cr13、1Cr13、2Cr13、1Cr18Ni9Ti
纯铁	DTI
锌及其合金	
铝	1070、1070A、1370、1060、1050、1050A、1145、1035、1A30、1200
铝合金	5A02、5A05、3A21、2A01、2A11、2A12、2A50、2A80
铜	T1、T2、T3
无氧铜	TU1、TU2
黄铜	H62、H68、H80
锡青铜、铝青铜	QSn6.5-0.1、QAl10-4-4
镍	N1、N2、N3、N4、N5、N6
镍铜合金	NiCu70-30
镁合金	MB1、MB2、MB3、MB4、MB5

二、毛坯的形状和尺寸的确定

1. 冷挤压件毛坯的形状

冷挤压件毛坯的形状主要是根据冷挤压件的截面形状和挤压方式决定的。毛坯的横截面轮廓形状应尽量与挤压件轮廓形状相同，并与挤压模型腔吻合，以便定位。毛坯的几何形状应保持对称、规则。两端面平行，毛坯表面应光滑，不得有裂纹、折叠等缺陷。

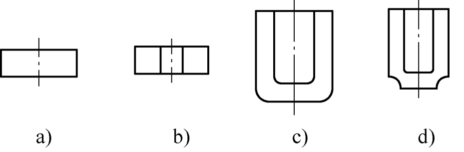


图 7-9 正挤压毛坯形状
a)实心毛坯 b)、c)、d)空心毛坯

正挤压毛坯形状如图 7-9 所示，图 7-9a 所示为实心毛坯，用于挤压实心件；图 7-9b、c、d 所示为空心毛坯，用以挤压空心件。

在反挤压时，毛坯采用实心的和空心的都有，如图 7-10 所示。

2. 冷挤压件毛坯尺寸

冷挤压件毛坯尺寸如图 7-11 所示，正、反挤压件毛坯与凸、凹模尺寸关系如图 7-12、图 7-13 所示，冷挤压毛坯尺寸的确定见表 7-2。

冷挤压后，一般都要修边后才能使用，修边余量见表 7-3。

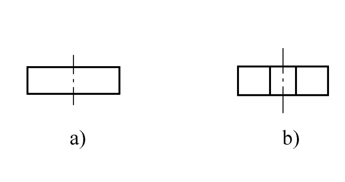


图 7-10　反挤压毛坯形状
a)实心毛坯　b)空心毛坯

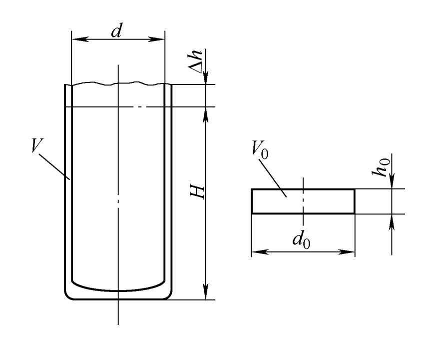


图 7-11　冷挤压件毛坯尺寸

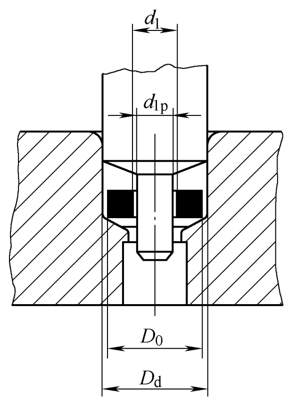


图 7-12　正挤压件毛坯与凸、凹模尺寸关系

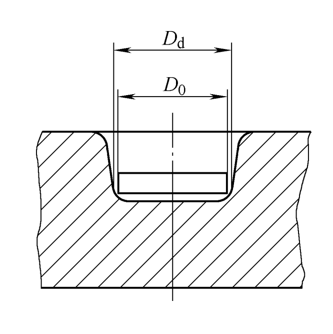


图 7-13　反挤压毛坯与凸、凹模尺寸关系

表 7-2　冷挤压毛坯尺寸的确定

计算内容	计算公式
毛坯体积 V_0	$V_0 = V$(V 为包括修边余量制件的体积)
毛坯厚度 h_0	$h_0 = V/F_0$(F_0 为毛坯横截面积)
正挤压毛坯内孔 d_1	$d_1 = d_{1p} + (0.1 \sim 0.2)$(制件内孔要求不高时)
	$d_1 = d_{1p} - (0.01 \sim 0.05)$(制件内孔要求高时)
正挤压毛坯外径 D_0	$D_0 = D_d - (0.1 \sim 0.3)$(管形件凸缘有要求时)
正挤压毛坯外径 D_0 (凸缘无要求时)	$D_0 = \sqrt{1.274F_0 + d_1^2}$($F$ 为制件横截面积) (F_0 为毛坯横截面积) $F_0 = \frac{F}{\varphi}$(φ—冲挤系数，铝 0.1、铜 0.2、黄铜 0.3)
反挤压毛坯外径 D_0	$D_0 = D_d - (0.1 \sim 0.3)$

表 7-3　修边余量的数值 Δh

制件高度	10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
Δh	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5

注：1. 制件高度大于 100mm 时，Δh 为制件高度的 5%。
2. 复合挤压时，因材料上、下流动不均，Δh 应适当加大。
3. 矩形件按表中数值加倍。

三、毛坯的制造

对于钢铁材料，一般采用棒料或管料毛坯；对于非铁金属，当毛坯厚度和毛坯直径之比小于

3/4 时，一般采用板料，大于 3/4 时，一般采用棒料和管料，其制造方法见表 7-4。

表 7-4　冷挤压毛坯的制造

制造方法	特　　点
在压力机上用模具截切棒料和管料	应用广，尤其是钢铁材料，材料利用率高达 95% ~100%，且生产率高。但在低速截切时，切下的毛坯断面比较粗糙，且与中心线不垂直，带有一定斜度，因此，需用镦平模镦平后再进行冷挤压
用冲裁模冲裁板料	生产率高，端面平整，断面光洁，但材料利用率低，一般在 60% 左右，一般用于非铁金属毛坯厚度和直径之比小于 3/4 时
用切削方法切割棒料或管料	其断面质量较好，可以不经过镦压预成形，材料利用率低，一般为 70% ~90%，生产率低。用于生产量小的制件

四、毛坯的软化处理

毛坯在冷挤压前必须进行软化热处理，其目的是降低毛坯材料的硬度，提高塑性，消除内应力和得到良好的金相组织，以降低单位挤压力，提高模具寿命。

在多工序冷挤压时，若变形剧烈，最好在工序间重新进行软化热处理。如后续工序的变形量不大或者上道工序冷作硬化不严重，工序间的退火有时可以省略。

冷挤压毛坯材料的软化处理规范见表 7-5。

表 7-5　冷挤压毛坯材料的软化处理规范

序号	毛坯材料	热处理规范	处理后硬度　HBW	备注
1	铝 1070 1070A 1060 1050 1050A 1035 1200	温度 /℃ 400 ～ 456℃ 炉冷 2 ～ 4 时间 /h	15 ~25	
2	铝合金 2A12	温度 /℃ 410℃ 340 ～ 370℃ 炉冷 4 ～ 5 4 ～ 6 时间 /h	50 ~60	温度 /℃ 110℃ 6 时间 /h 冷挤压后，必须进行退火处理，以消除挤压所产生的残留应力
3	铝合金 5A02 5A03 5083 5A05	温度 /℃ 360～400℃ 炉冷 5 时间 /h	38 ~39	
4	铝合金 2A80	温度 /℃ (440±10)℃ 炉冷至 150℃ 空汽 2 时间 /h	55	

（续）

序号	毛坯材料	热处理规范	处理后硬度　HBW	备注
5	铜 T1、T2 T3 无氧铜 TU1、TU2	温度/℃ 700～720℃ 炉冷至 150℃ 空汽冷 4 时间/h	37～42	也可采用水淬软化处理
6	黄铜 H62	温度/℃ 670～680℃ 炉冷 5 时间/h	50～55	也可采用 700～750℃淬火软化、水淬
7	黄铜 H68	温度/℃ 600～670℃ 炉冷 4 时间/h	45～55	也可采用 700～750℃淬火软化、水淬
8	锡青铜 QSn6.5-0.1	温度/℃ 700℃ 炉冷 2～4 时间/h	80	
9	锡青铜 QAl10-4-4	温度/℃ 920℃ 炉冷 2.5 时间/h	143～150	
10	纯铁 DT1	温度/℃ (900±10)℃ 炉冷 3 时间/h	60～80	
11	优质碳素结构钢 10、15、20、30、40、45	温度/℃ (720±10)℃ 炉冷 2～3 时间/h	107～162	10：107～108HBW 15：109～121HBW 20：121～131HBW 30：137～145HBW 40：154～162HBW 45：154～162HBW
12	优质碳素结构钢 10	温度℃ 930℃ 炉冷至 150～200℃ 空冷 2～3 时间/h	80～90	

（续）

序号	毛坯材料	热处理规范	处理后硬度　HBW	备注
13	优质碳素结构钢 20	温度/℃　850～890℃　炉冷　6　时间/h	110～120	
14	优质碳素结构钢 45	温度/℃　820～850℃　炉冷　2～3　时间/h	145～155	
15	碳素结构钢 Q215	温度/℃　920～960℃　炉冷　8　16　8　96　时间/h	100～110	45钢用此法退火，毛坯硬度约为130HBW，此种退火周期长，应防止脱碳
16	优质碳素结构钢 15Mn	温度/℃　760℃　炉冷　5　时间/h	130	
17	合金结构钢 20MnV	温度/℃　840℃　40℃/小时　720℃　随炉　650℃　炉冷　2　4　5　时间/h	>131	
18	合金结构钢 15Cr 20Cr	温度/℃　680～720℃　炉冷至300℃空冷　14　时间/h	15Cr： 113～120HBW 20Cr： 120～130HBW	
19	优质碳素结构钢 45Mn	温度/℃　880℃　炉冷　4　时间/h	145～155	

（续）

序号	毛坯材料	热处理规范	处理后硬度 HBW	备注
20	不锈钢 1Cr18Ni9Ti	1150℃ 炉冷 温度/℃ 5～6 时间/h	120～130	
21	合金结构钢 30CrMnSiA	890℃±10℃ 油淬 730℃ 温度/℃ 时间/h	≈120	淬火时间根据毛坯尺寸而定

五、非铁金属毛坯表面处理及润滑

非铁金属中，铝合金 2A11 与 2A12 由于塑性较差，常在冷挤压中发生环状裂纹。解决这种缺陷的方法是将毛坯进行表面处理，产生一层可以储存润滑剂的多孔薄膜。铝合金表面处理过程见表 7-6，铝合金表面处理方法见表 7-7。

非铁金属冷挤压用润滑剂见表 7-8。

表 7-6　铝合金表面处理过程

处理过程	方　　法
去油	汽油洗→热水洗→(60—100℃)→冷水冲洗
去氧化皮	将毛坯放入工业硝酸 400～800g/L 溶液中去氧化皮，时间以洗净为止，再用冷水冲洗两次
表面处理	方法见表 7-7

表 7-7　铝合金表面处理方法

方法	配　　方	处理温度	处理时间
氧化处理	工业氢氧化钠 NaOH，40～60g/L；水 H_2O，1L	50～70℃	3～5min
磷化处理	磷酸二氢锌 $Zn(H_2OP_4)$，28g/L 磷酸 H_3PO_4(75%)，3～5g/L 铬酐 CrO_3，10g/L 十二醇烷基硫酸钠(温润剂)，0.5g/L 水 H_2O，1L	55～60℃	2～3min
氟硅化处理	氟硅酸钠粉末 Na_2SiF_2(93%)，30g 氟化锌 ZnF_2(7%)，30g 水 H_2O，1L	在溶液沸点下处理制件约 10min	

表 7-8　非铁金属冷挤压用润滑剂

挤压材料	润滑剂成分	配方与使用方法	备　　注
铝	猪油 100%		1）涂擦不均，容易产生“流散”现象 2）与其他润滑剂相比，挤压力较大
	十八醇 80% 硬脂酸 20%	当气温较低时，可稍加热使用	制件表面粗糙度值可达 *Ra* 0.2μm

（续）

挤压材料	润滑剂成分	配方与使用方法	备　注
铝	硬脂酸锌100%（有时加少量十八醇润滑性能更好）	将清洁好的毛坯与粉状硬脂酸锌一起放在滚筒内滚15～30min	1）挤压件壁厚均匀 2）冷挤压流动性好 3）卸料力小 4）制件表面粗糙度值为 Ra 3.2～0.8μm
	猪油25% 液体石蜡30% 十四醇10% 四氯化碳35%	猪油加热到200℃，冷却到室温后加入四氯化碳，搅拌均匀后加入液体石蜡	1）挤压时流动性好 2）制件表面粗糙度值为 Ra 3.2～0.8μm
	猪油5% 甘油5% 气缸油15% 四氯化碳75%	猪油、甘油加热到200℃，然后冷却到40℃以下，倒入四氯化碳搅拌均匀，再倒入气缸油	1）冷挤压时流动性能好 2）制件表面粗糙度值为 Ra 3.2～0.8μm
	十四醇80% 酒精20%	按比例配合使用，当气温较低时，十四醇应稍加热，增加流动性，使与酒精混合良好	较好
铝合金 2A11 2A12	氧化后用工业菜油或豆油润滑		内孔表面粗糙度值达 Ra 0.2～0.1μm
	氧化后用皂化润滑		较好
铝合金 5A02 3A21	猪油18% 气缸油22% 石蜡油22% 十四醇3% 四氯化碳35%	猪油加热到200℃后，加入少许四氯化碳，然后加入气缸油及石蜡油，加热到250℃稍冷却后加入甘油与十四醇，冷却到150℃时将剩余四氯化碳全部加入	1）润滑性能较好 2）制件表面粗糙度值为 Ra 1.6μm
无氧铜 TU1、TU2	工业菜油或豆油		表面粗糙度值较低
纯铜 T1、T2、T3 黄铜 H62、H68	猪油13% 十四醇3% 纯机油84%	猪油加热到200℃，几分钟后加入机油，搅拌均匀（约3min），最后加入十四醇	制件表面粗糙度值很小
	工业豆油		效果良好
	蓖麻油或汽轮机油		效果良好
	羊毛脂		效果良好
黄铜 H62、H68	表面钝化处理后，在黄铜表面形成钝化膜，作为润滑之用。具体过程是退火→酸洗→钝化→浸入润滑剂	钝化工艺流程：汽油除油→热水洗（60～120℃）→冷水冲洗→钝化（5～10s）→冷水冲洗→热水洗→干燥 钝化配方： 铬酐200～250g/kg 硫酸8～16g/kg 硝酸30～50g/kg 溶液温度20℃ 处理时间5～10s	

（续）

挤压材料	润滑剂成分	配方与使用方法	备　注
黄铜 H62、H68	硬脂酸锌(粉末状)	敷上即可	用于空心制件正挤压，可避免内孔出现环状裂纹，但挤压力稍大于羊毛脂
镍 N1、N2	表面镀铜挤压，润滑剂可采用纯铜的润滑剂	按一般镀铜工艺，镀层厚 0.01 ~ 0.015mm	效果良好
锌镉合金	羊毛脂与工业汽油按 1:1 或 1:1.5 混合	先将羊毛脂在 50 ~ 60℃ 的电炉中溶化，然后按上述比例与工业汽油混合而成	1）表面质量较好 2）具有保持热量的能力 3）对模具及制件无腐蚀作用
锡、铅	矿物油		

实验结果表明：磷化处理加工业菜油处理的制件表面质量比发蓝处理好。

六、钢铁材料毛坯表面处理及润滑

1. 表面处理

在钢铁材料冷挤压时，由于单位挤压力高达 2000MPa 以上，采用一般涂刷润滑剂的方法不能满足要求，挤压时润滑剂都被挤掉，起不到润滑作用。因此，在进行润滑之前都要进行表面处理，常用的是磷酸盐处理，简称磷化处理。

磷化处理的目的是使毛坯表面牢固地附着一层薄薄的磷酸盐结晶，这层结晶有许多空隙，能容纳润滑油，并在挤压过程中能随金属一起塑性流动。因此，毛坯表面在磷化处理后再涂上润滑剂，在挤压时就能起到变形金属和模具凸、凹模隔离，减少摩擦，降低挤压力和提高模具寿命。

毛坯表面处理与润滑过程见表 7-9。

表 7-9　毛坯表面处理与润滑过程

序号	过程	方　法
1	表面清洁	毛坯清洗步骤见表 7-10
2	磷化处理	毛坯表面磷化处理方法见表 7-11
3	润滑	配制 100L 浓缩磷化液材料比例见表 7-13

表 7-10　毛坯清洗步骤

序号	步骤	配　方
1	去油	氢氧化钠 NaOH，60 ~ 100g 碳酸钠 Na_2CO_3，60 ~ 80g 磷酸钠 Na_3PO_4，25 ~ 80g 水玻璃 Na_2SiO_3，10 ~ 15g 水 H_2O，1L 处理温度，≥85℃ 处理时间，15 ~ 25min
2	热水洗	处理温度，≥85℃ 处理时间，15 ~ 25min

（续）

序号	步骤	配　方
3	酸洗	① 方法1 盐酸 HCl(32度)，100% 处理温度，室温 时间，5~15min ②方法2 硫酸 H_2SO_4，120~180g 食盐 NaCl，8~10g 水 H_2O，1L 温度，60~70℃ 时间，5~15min
4	流动冷水冲洗	温度，室温 时间，4~5次吊动
5	中和	碳酸钠 Na_2CO_3，80~100g 水 H_2O，1L 温度，35~50℃ 时间，2~3min
6	流动冷水冲洗	处理温度，室温 处理时间，3~4次吊动

表 7-11　毛坯表面磷化处理方法

磷化处理配方成分	配制使用方法
氧化锌 ZnO，20~30g 磷酸 H_3PO_4，22~30g 硝酸 HNO_3，30~40g 碳酸钠 Na_2CO_3，4~6g 亚硝酸钠 $NaNO_3$，0.1~0.2g 水 H_2O，1L 总酸度，50~70点 游离酸度，3~5点 处理温度，40~45℃ 处理时间，10~15min	先配制浓缩液，然后用10倍水稀释。正常生产时，用浓缩液对溶液进行调整。浓缩磷化液材料比例见表7-12。将23kg的氧化锌单独用水调成浆状，用有冷却设备的不锈钢槽配制浓缩液，在槽内加入少许冷水，不断搅拌并缓慢加入所需要的硝酸，再加入磷酸。通入冷却水，在温度不大于41℃时搅拌并分批加入调好的氧化锌，每次完全溶解后，再加入下一批，直至氧化锌全部溶解无沉淀物。待溶液冷却到室温时将碳酸钠加入，搅拌使其全部溶解，至浓缩液表面产生的红色气泡消失为止，再用水稀释至所需体积，然后加入亚硝酸钠，静至1h，当有部分沉淀时即可使用
氧化锌 ZnO，9g 磷酸 H_3PO_4，20mL 水 H_2O，1L 总酸度，16~20点 游离酸度，2.5~4.5点 温度，85~95℃ 处理时间，约30min	将氧化锌白色粉末，加微量的水调成白色浆状，再加入磷酸，白色粉末逐渐溶解变成磷酸二氢钠，待白色粉末全部溶解后，按比例加水即成。将待磷化的毛坯放入加热的溶液中即可磷化，这种配方能取得良好的磷化质量

表 7-12　配制 100L 浓缩磷化液材料比例

化学材料	硝酸	磷酸	氧化氢	碳酸钠
比重	1.4	1.7		
需要量/kg	30.8~36.3	20.6	23	4

2. 润滑

经磷化处理的毛坯还要进行润滑处理，目前采用的有硬脂酸钠、肥皂、二硫化钼、机油或动物油等。用硬脂酸钠或肥皂作为润滑剂进行润滑处理，通常称为“皂化”。皂化配方见表7-13。

表7-13　皂化配方

成　　分	方　　法
硬脂酸钠 $C_{17}H_{35}COONa$，5～9g 水 H_2O，1L	二者在容器内加热到60～70℃搅拌10min
硬脂酸 $C_{17}H_{35}COOH$，57g 氢氧化钠 NaOH，8g 水 H_2O，1L	没有现成的硬脂酸钠时，将三者在容器内加热到90℃以上，搅拌1～2h，直至溶液变为透明的黄色硬脂酸钠
工业皂片-脂肪物含量84%，200～220g 水 H_2O，1L	二者在容器内加热到50～60℃搅拌30min

经过皂化的毛坯，应当在干燥后使用。可利用本身在皂化时获得的热量来干燥(自然干燥)，也可以用温度75～110℃的热空气进行干燥。干燥的温度不宜超过180℃，否则润滑膜会受到破坏。

不锈钢(1Cr18Ni9Ti)在磷化液中不能生成所需要的磷化膜，可用草酸盐处理，使毛坯表面生成一种绿色的草酸亚铁($FeC_2O_4 \cdot 2H_2O$)，其配方见表7-14。草酸盐处理后，还应进行润滑，润滑剂配方见表7-15。

表7-14　草酸盐处理配方

成　　分	方　　法
草酸 $H_2C_2O_4$，50g 钼酸铵 $(NH_4)_2MoO_4$，30g 氯化钠 NaCl，25g 氟化氢钠 $NaHF_2$，10g 亚硫酸钠 Na_2SO_3，3g 水 H_2O，1L	将上述成分放入90℃的热水中，温度不能超过95℃，将毛坯放入，保持15～20min
草酸 $H_2C_2O_4$，37.5g 三硫酸亚铁 $Fe_2(SO_4)$，8.7g 硫酸氢钠 $NaHO_4$，3.75g 硫代硫酸钠 $Na_2S_2O_3$，1.2g 水 H_2O，1L	先将草酸、三硫酸亚铁与硫酸氢钠放入50～55℃的热水中，加热到65℃，再加入1.2g硫代硫酸钠，最后将毛坯放入，保持20～30min，待毛坯为淡绿色即可
第一种配方比第二种配方的挤压力大10%～20%，在挤压力不是很大时，应优先采用第二种配方，因氟化氢钠是毒品	

表7-15　不锈钢(1Cr18Ni9Ti)润滑剂配方

成　　分	比　　例
氯化石蜡	85%
二硫化钼	15%

第三节　冷挤压的极限变形程度和挤压力

一、冷挤压极限变形程度

冷挤压变形程度的表示方法见表7-16。正、反挤压件变形程度 φ 的计算公式见表7-17。

表 7-16　冷挤压变形程度的表示方法

表示方法	计算公式
断面变化率 φ	$\varphi=\frac{A_0-A}{A_0}\times100\%$
挤压比 R	$R=\frac{A_0}{A}$
对数挤压比 φ	$\varphi=\ln\frac{A_0}{A}$

注：式中　A_0——毛坯横截面积（mm^2）；

A——挤压件横截面积（mm^2）。

表 7-17　正、反挤压件变形程度 φ 的计算公式

名称	毛坯尺寸	挤压件尺寸	计算公式
正挤压实心件	d_0	d_0　d_1	$\varphi=\frac{A_0-A}{A_0}\times100\%$ $=\frac{d_0^2-d_1^2}{d_0^2}\times100\%$
正挤压空心件	d_2　d_0	d_0　d_2　d_1	$\varphi=\frac{A_0-A}{A_0}\times100\%$ $=\frac{d_0^2-d_1^2}{d_0^2-d_2^2}\times100\%$
反挤压筒形件	d_0	d_0　d_1	$\varphi=\frac{A_0-A}{A_0}\times100\%$ $=\frac{d_1^2}{d_2^2}\times100\%$
反面压带芯筒形件	d_0	d_0　d_1　d_2	$\varphi=\frac{A_0-A}{A_0}\times100\%$ $=\frac{d_1^2-d_2^2}{d_0^2}\times100\%$
反挤矩形件	A　B	a　A　b　B	$\varphi=\frac{A_0-A}{A_0}\times100\%$ 当 $A=B$，$a=b$ 时 $\varphi=\frac{a^2}{A^2}\times100\%$

冷挤压时，一次挤压加工可能达到的最大变形程度称为极限变形程度。但变形程度大时，单位挤压力很大，会显著降低模具的使用寿命。若单位挤压力超过模具强度所许可的范围，则造成模具的早期损坏。所以冷挤压的极限变形程度实际上是受模具强度和模具寿命的限制。也就是说，冷挤压的极限变形程度实际上是指在模具强度允许的条件下，保持模具有一定寿命的一次挤压变形程度。

影响冷挤压极限变形程度的因素见表 7-18。

表 7-18　影响冷挤压极限变形程度的因素

序号	因　　素	影　　响
1	模具本身许用单位压力	目前模具钢的单位压力一般不宜超过 2500～3000MPa
2	挤压金属产生塑性变形所需的单位压力	这取决于挤压金属的性质，金属强度大，单位挤压力大。正挤压单位挤压力小于反挤压的单位挤压力。模具工作部分几何参数合理，单位挤压力小。表面处理与润滑条件越好，极限变形程度越大

非铁金属挤压的极限变形程度见表 7-19。正挤压实心件、正挤压空心件与反挤压空心件对不同碳钢的极限变形程度分别如图 7-14 ~ 图 8-16 所示。

表 7-19　非铁金属挤压的极限变形程度

金属名称	断面变化率 φ(%)	备　　注
铅、锡、锌、铝 防锈铝 无氧铜	正挤压：95 ~ 99 反挤压：90 ~ 99	低强度的金属取上限 高强度的金属取下限
硬铝、纯铜、黄铜、镁	正挤压：90 ~ 95 反挤压：75 ~ 90	

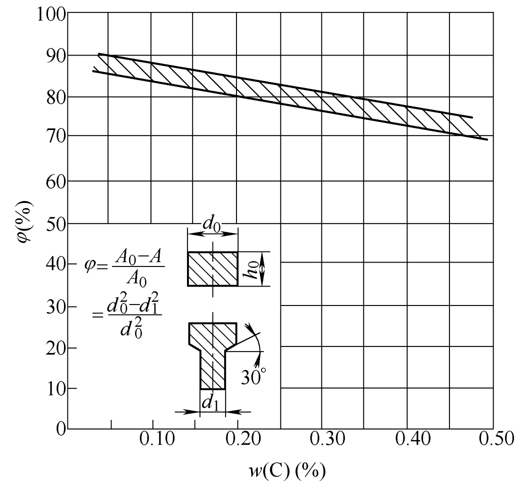


图 7-14　正挤压碳素钢实心件极限变形程度

图 7-15　正挤压碳素钢空心件极限变形程度

二、冷挤压力

1. 冷挤压力曲线

图 7-17 所示为冷挤压力 F 与行程 S 的关系曲线。曲线 a、b 分别为毛坯高度较大的正挤压和反挤压力曲线。曲线 c 是毛坯高度较小的挤压力曲线。

冷挤压过程中压力的变化可分为四个阶段，见图 7-17 和表 7-20。

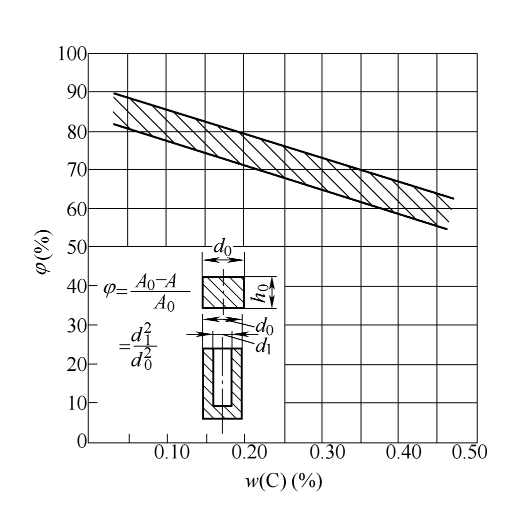


图 7-16　反挤压碳素钢空心件极限变形程度

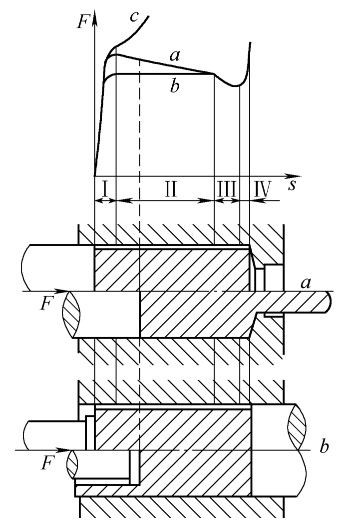


图 7-17　冷挤压力 F 与行程 S 的关系曲线

表 7-20　冷挤压过程中压力的变化

阶段	特　　点
Ⅰ	挤压初始镦粗与充满型腔阶段
Ⅱ	稳定挤压阶段
Ⅲ	挤压终了阶段
Ⅳ	刚端挤压阶段，要注意此阶段，当反挤压毛坯底部或正挤压凸缘厚度小于某一数值(纯铝为 0.2 ~ 0.3mm，钢铁材料约为 1.5mm)时，则变形非常困难，变形阻力极大，挤压力急骤上。显然，冷挤压工艺应在刚端挤压阶段前结束。计算冷挤压力是以稳定挤压阶段为依据

2. 挤压力的计算

(1) 公式计算法

$$F = 1.3Ap = Az_m nR_m \qquad (7\text{-}1)$$

式中　F——挤压力(N)；

p——单位挤压力(MPa)；

A——凸模工作部分横截面积(mm^2)；

z_m——模具形状系数，见图 7-18；

n——变形程度系数，见表 7-21；

R_m——挤压前材料抗拉强度(MPa)。

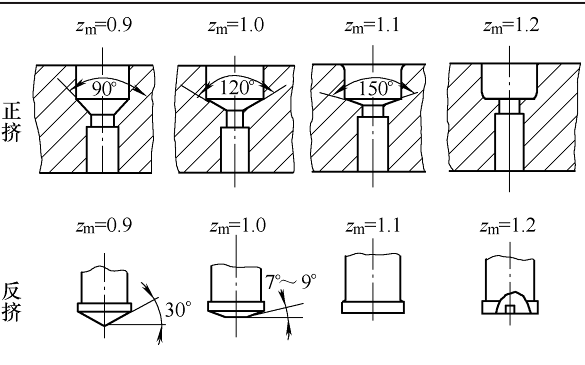


图 7-18　模具形状系数

表 7-21　变形程度系数 *n*

挤压方法	断面变化率			备　　注
	$\varphi=40\%$	$\varphi=60\%$	$\varphi=80\%$	
正挤压	3	4	5	实心与空心件相同
反挤压	4	5	6	口部敞开

例 7-1　正挤压纯铜接头制件如图 7-19 所示，计算单位挤压力与总挤压力。

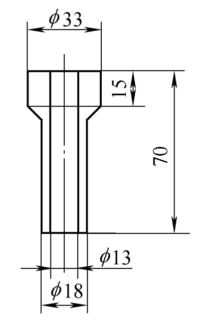


图 7-19　接头

断面变化率 $\varphi = \dfrac{33^2 - 18^2}{33^2 - 13^2} \times 100\% = 83\%$

纯铜退火状态下 $R_m = 200\text{MPa}$

查图 7-18，$z_m = 0.9$

查表 7-21，$n = 5$

单位挤压力 $p = z_m nR_m = 0.9 \times 5 \times 200\text{MPa} = 900\text{MPa}$

总挤压力 $F = 1.3 \times 900\text{MPa} \times \dfrac{\pi}{4} \times (33^2 - 13^2)\text{mm}^2 = 844974\text{N} = 845\text{kN}$

例 7-2　反挤压 15Mn 钢轴承套制件如图 7-20 所示，计算单位挤压力和总挤压力。

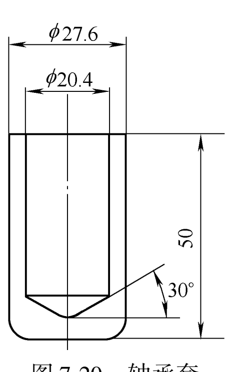


图 7-20　轴承套

断面变化率 $\varphi = \dfrac{20.4^2}{27.6^2} \times 100\% = 54.6\%$

15Mn 钢退火状态下 $R_m = 420\text{MPa}$

查图 7-18，$z_m = 0.9$

查表 7-21，$n = 5$

单位挤压力 $p = z_m nR_m = 0.9 \times 5 \times 420\text{MPa} = 1890\text{MPa}$

总挤压力 $F = 1.3Ap = 1.3 \times \dfrac{\pi}{4} \times 20.4^2\text{mm}^2 \times 1890\text{MPa} = 802667\text{N} =$

803kN

（2）图表法　图 7-21 ~ 图 7-23 所示分别为钢铁材料的正挤压实心件、正挤压空心件、反挤压

未经校正的凸模单位压力p/MPa

断面变化率φ(%)

20CrMn

15CrMn

15Cr

15

纯铁

h_0/d_0=3.0

α_p=60°

经校正的凸模单位压力p/MPa

凸模压力F/MN

凸模直径d_0/mm

工件末端直径d_1/mm

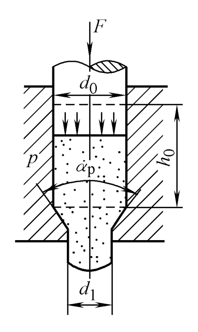


图 7-21　钢铁材料正挤压实心件的挤压力图解（VDE 数据表）

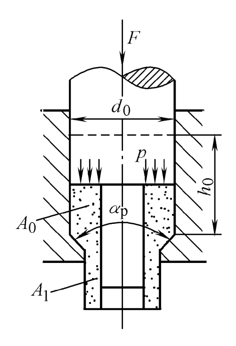


图 7-22　钢铁材料正挤压空心件的挤压力图解(VDE 数据表)

筒形件的挤压力图解。图 7-24 ~ 图 7-26 所示分别为钢铁材料正挤压实心件、正挤压空心件和反挤压杯形件的挤压力图解。图 7-27 ~ 图 7-29 所示分别为非铁金属正挤压实心件、正挤压空心件、反挤压筒形件的单位挤压力图解。

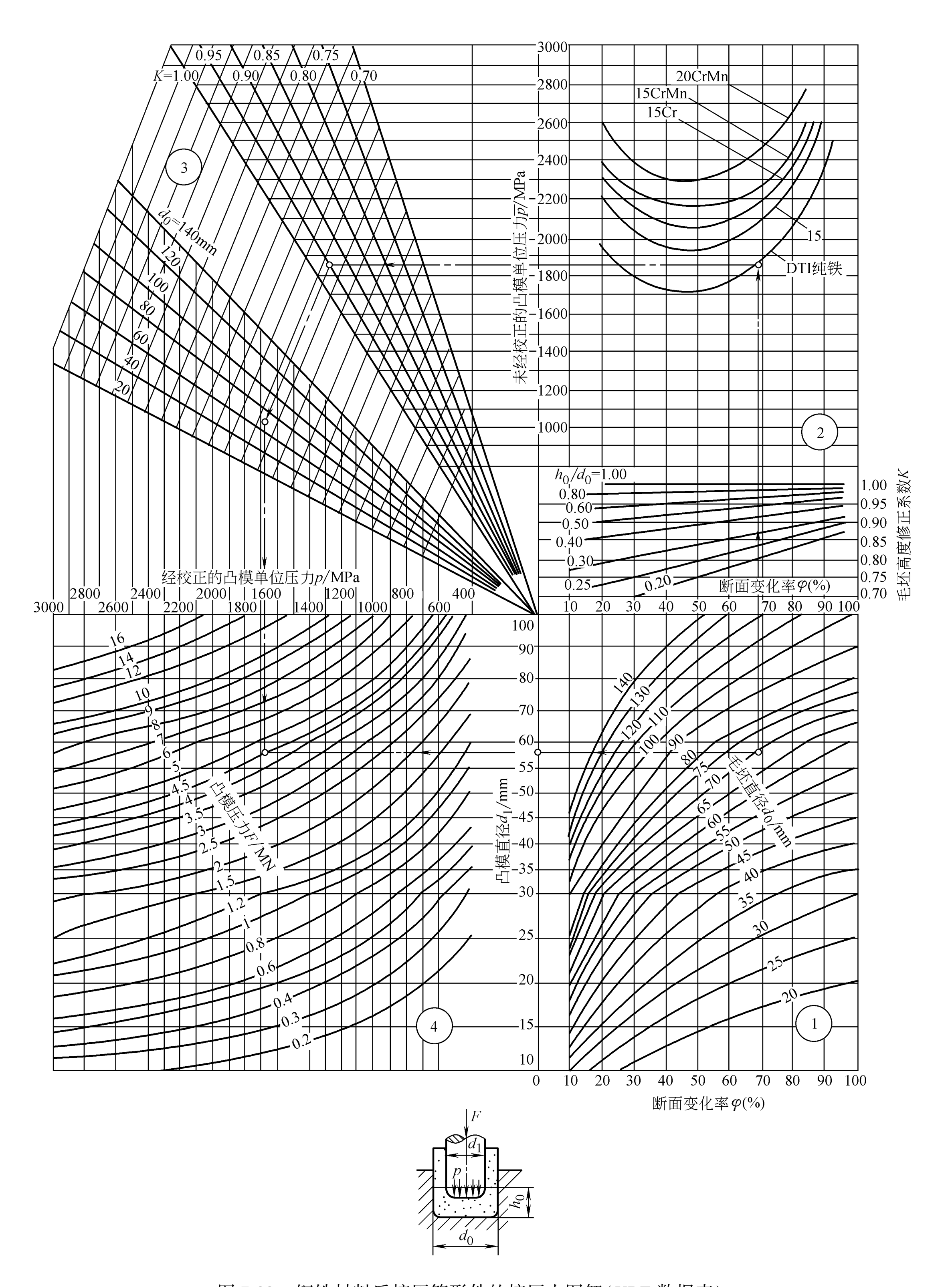


图 7-23 钢铁材料反挤压筒形件的挤压力图解(VDE 数据表)

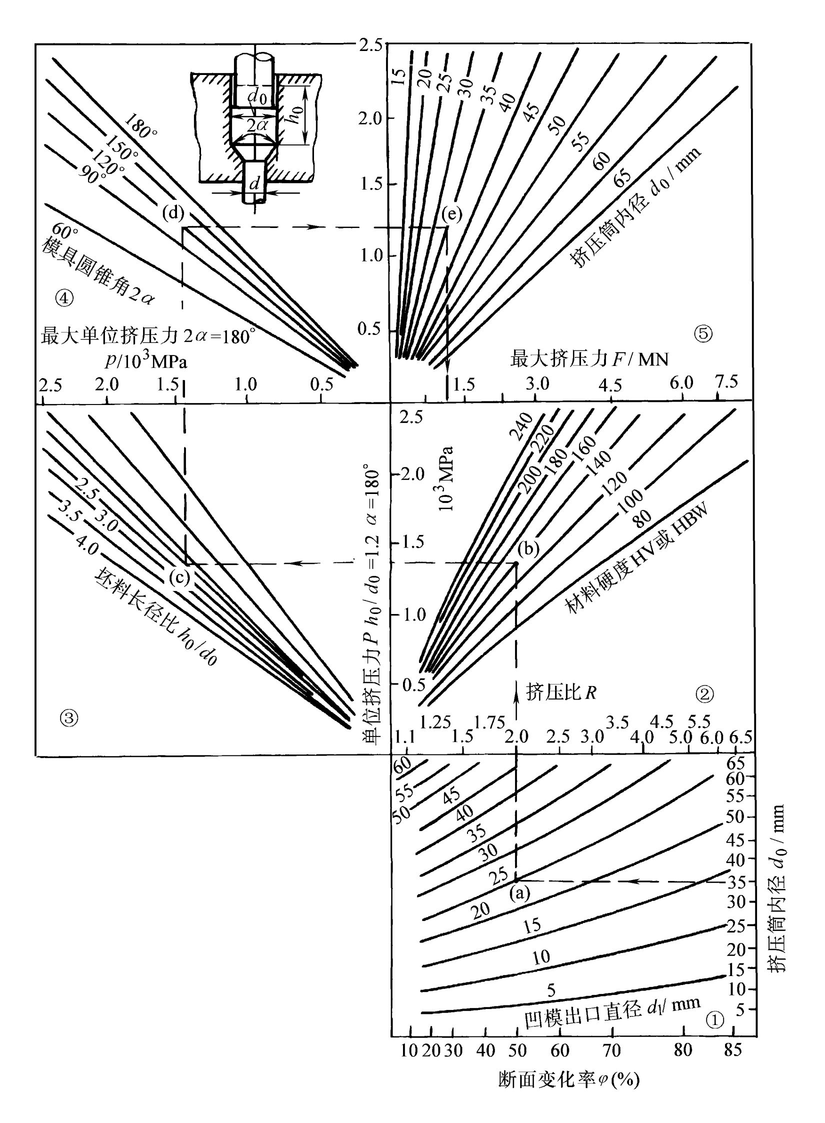


图 7-24　钢铁材料正挤压实心件的挤压力图解（ICFG 数据表）

表 7-22 ~ 表 7-25 及图 7-31 给出了不同条件下的单位挤压力的经验数据与资料。

例 7-3　正挤压实心件，已知冷挤压材料为纯铁，毛坯直径（或凸模直径）$d_0=75$mm，毛坯高度 $h_0=110$mm，挤压后直径 $d_1=45$mm，凸模中心锥角 $\alpha_p=90°$，求单位挤压力和挤压力。

解：从图 7-21 中①区找到 $d_0=75$mm，作水平线与 $d_1=45$mm 相交，从交点垂直向上求得断面变化率 $\varphi=64\%$；由 $\varphi=64\%$ 向上进入②区与纯铁曲线相交，由交点作水平线得未经修正的单位挤压力 $\bar{p}=850$MPa；继续向左进入③区进行修正，先找毛坯相对高度 $h_0/d_0=110/75=1.5$ 斜线进行相对高度的修正，然后找 $\alpha_p=90°$进行凹模中心锥角的修正，垂直向下得到修正后的单位挤压力 $p=1050$MPa；最后垂直向下进入④区与 d_0 在④区中作水平线相交，求得挤压力 $F=4.5$MN。

例 7-4　反挤压筒形件，已知挤压材料为纯铁，毛坯直径 $d_0=70$mm，高度 $h_0=35$mm，凸模直径 $d_1=58$mm，求单位挤压力和挤压力。

解：从图 7-23①区查凸模直径 $d_1=58$mm，作水平线与毛坯直径 $d_0=70$mm 相交，从交点垂直向上求得断面变化率 $\varphi=69\%$；再向上进入②区与毛坯相对高度 $h_0/d_0=35/70=0.5$ 曲线相交，由交点的横坐标线得修正系数 $K=0.94$；由交点再向上与纯铁材料曲线相交，得未经校正的凸模

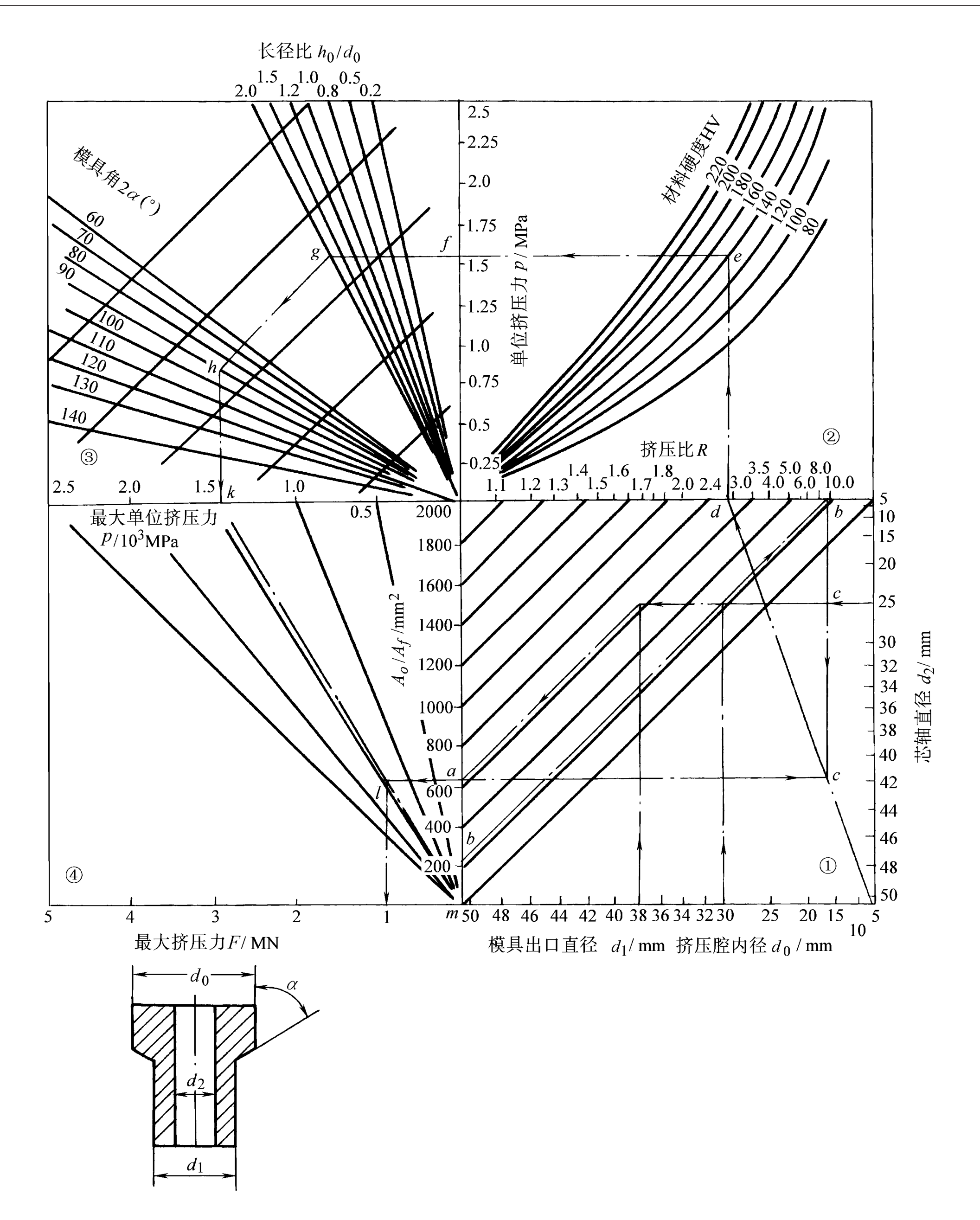


图 7-25　钢铁材料正挤压空心件的挤压力图解(ICFG 数据表)

单位压力 $\bar{p}=1860\text{MPa}$；再向左进入③区进行修正，经毛坯修正系数 $K=0.94$ 和毛坯直径 $d_0=70\text{mm}$ 的曲线进行修正后，得修正后的单位压力 $p=1660\text{MPa}$；最后垂直向下进入④区，与凸模直径 $d_1=58\text{mm}$ 在④区的投影相交即得挤压力 $F=4.5\text{MN}$。

例 7-5　正挤压实心件，材料为 30 钢，硬度为 138～145HBW，毛坯直径(或凸模直径) $d_0=35\text{mm}$，毛坯长度 $h_0=70\text{mm}$，挤压后直径 $d_1=25\text{mm}$，凹模中心角 $\alpha_p=120°$，求单位挤压力和挤压力。

解：从图 7-24 中①区找到 $d_0=35\text{mm}$，作水平线与挤压后直径 $d_1=25\text{mm}$ 相交；从交点垂直向上求得挤压比 $R=\frac{d_0^2}{d_1^2}=\frac{35^2}{25^2}\approx2$；由挤压比 $R=2$ 向上进入②区与 140HBW 相交；由交点作水平

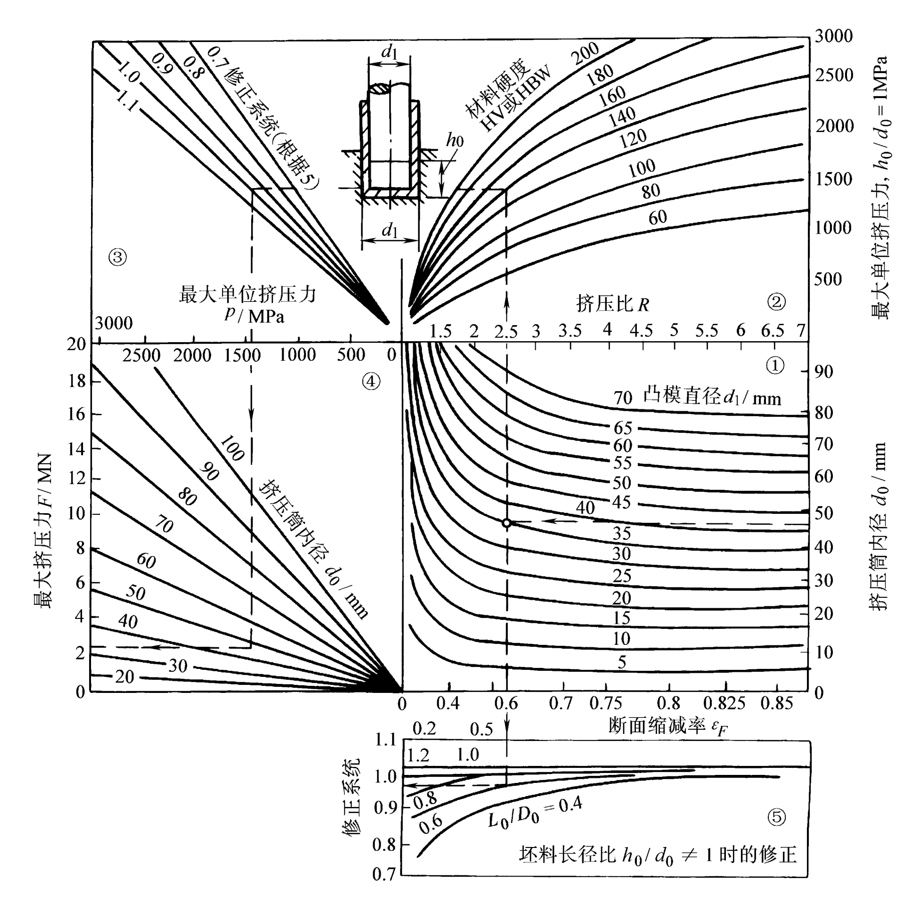


图 7-26　钢铁材料反挤压杯形件的挤压力图解(ICFG 数据表)

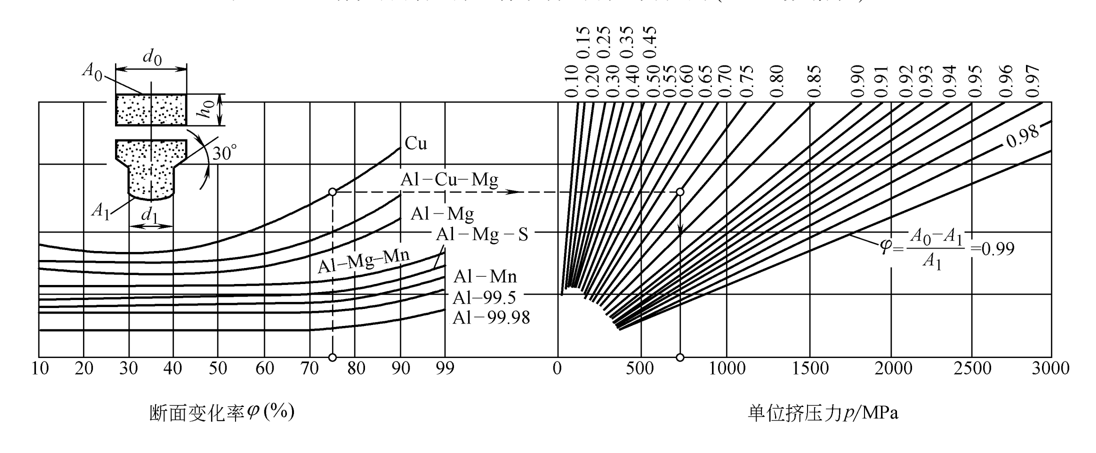


图 7-27　非铁金属正挤压实心件的单位挤压力图解

线得未经修正的单位挤压力 $p=1.35\times10^{3}$MPa；继续向左进入③区，与毛坯相对高度 $h_0/d_0=70/35=2$ 相交；由此点作垂线得修正后的单位挤压力 $p=1.45\times10^{3}$MPa；继续向上进行凹模中心角 $\alpha_p=120°$中心角修正；由此交点作水平线进入⑤区，与毛坯直径 $d_0=35$mm 相交进行修正后；由交点作垂线，得最大挤压力 $F=1.2$MN。

例 7-6　正挤压实心件如同 7-30 所示，材料为纯铜 T1。

解：先求断面变化率 φ

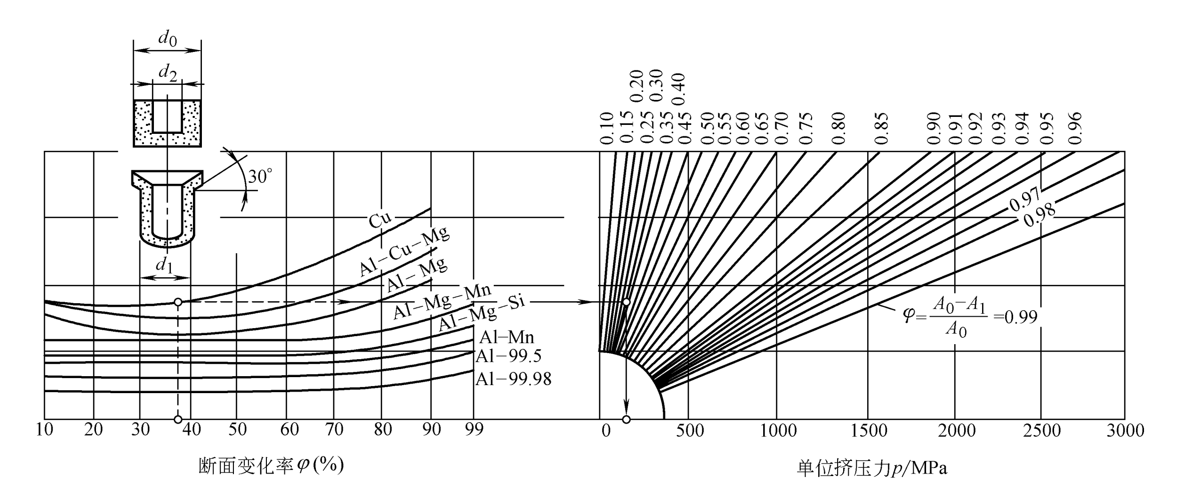


图 7-28　非铁金属正挤压空心件的单位挤压力图解

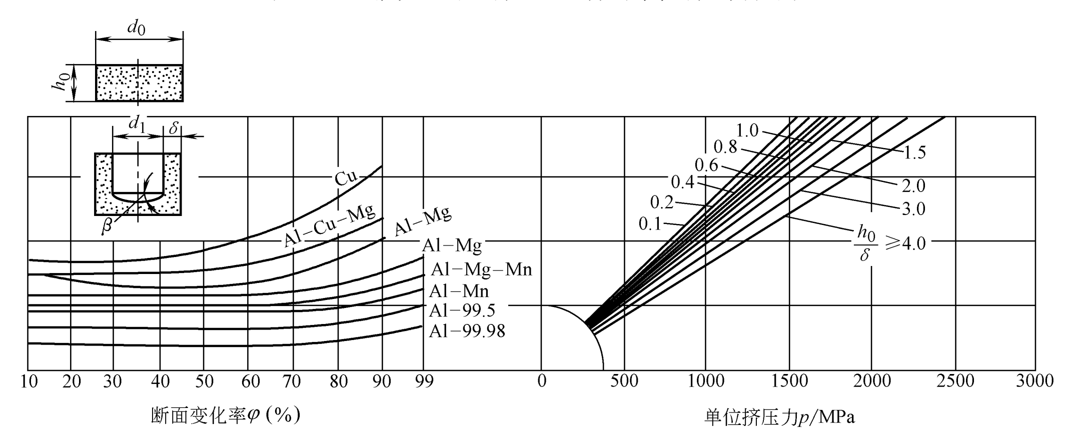


图 7-29　非铁金属反挤压筒形件的单位挤压力图解

$$\varphi=\frac{d_0^2-d_1^2}{d_0^2}\times 100\%=\frac{100^2-51^2}{100^2}\times 100\%=74\%$$

从图 7-27 找到 $\varphi=74\%$ 作垂线向上和 Cu 曲线相交，从交点向右作水平线与断面变化率 $\varphi=0.74$ 斜线相交，从交点垂直向下和单位挤压力相交，得单位挤压力 $p=700$MPa。

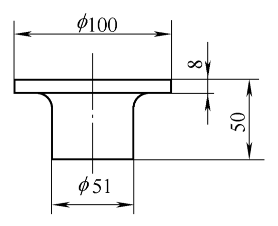


图 7-30　正挤压实心件

将 p 代入式(7-1)

$$F=1.3Ap=1.3\times\frac{\pi}{4}100^2\text{mm}^2\times 700\text{MPa}=7143500\text{N}\approx 7144\text{kN}$$

表 7-22　钢实心件正挤压单位挤压力　　（单位：MPa）

钢中碳的质量分数(%)	抗拉强度 R_m/MPa	挤压比					
		1.25	1.5	2.0	3.0	5.0	10.0
0.1	400	570	745	1030	1480	1920	2600
0.15	380～400	570	745	1030	1480	1920	2600
0.2	450	610	810	1140	1580	2140	2900
0.3	500	680	900	1260	1710	2390	3260
0.45	550		1170	1700	2280		
纯铁			600	930	1350	1860	2470
1Cr18Ni9Ti	520		1430	2100	2820		

表 7-23 铝实心件正挤压单位挤压力 （单位：MPa）

材料	抗拉强度 R_m /MPa	挤压比						
		2	4	5	10	20	50	100
纯铝	90～110	300	460	500	640	780	970	1110
7A04	200	500	850	1000	1160	1460		

表 7-24 筒形件反挤压单位挤压力 （单位：MPa）

材料	抗拉强度 R_m /MPa	断面变化率 φ(%)					
		65	70	80	85	90	95
铝	95		700	740	750	770	940
铜	210	1340	1360	1500	1560	1750	2350
钢[w(C)=0.3%]	380	2270	2350	2600	2750		
铝(99.7%)	70	500		530		640	740

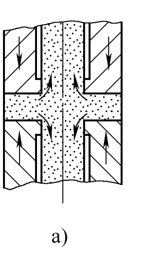
表 7-25 筒形件反挤压单位挤压力 （单位：MPa）

材料	抗拉强度 R_m/MPa	断面变化率 φ(%)						
		10	20	35	50	67	80	90
钢[w(C)=0.13%]	400	2100	2000	1870	2030	2500	3090	
钢[w(C)=0.45%]	490	2900	2510	2300	2760			
铜	200					1200	1450	1850
铝合金 2A50	220				1150	1200	1600	2300
10 钢			1600	1550	1700	2100	2550	

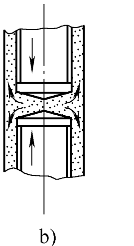
3. 复合冷挤压力

图 7-31 所示为常用的三种典型的复合挤压，当金属向正、反两个方向的流动为自由的情况下，其冷挤压力可作如下考虑：

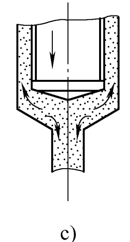
1）图 7-31a、b 是上下对称的杆形件和上下对称的筒形件正、反复合挤压。在其稳定挤压阶段的挤压力与一个方向上的单独挤压力都小，所以，可以用前面的计算公式或图形算法确定挤压力。



a)



b)



c)

图 7-31 复合挤压

2）图 7-31c 所示为正挤压杆形件，反挤筒形件的筒杆复合挤压，先分别计算出纯正挤压或纯反挤压的挤压力，然后乘以比值即可得到复合挤压的挤压力。即

$$F = K_1 F_a \qquad (7\text{-}2)$$

$$F = K_2 F_b \qquad (7\text{-}3)$$

式中 F——复合挤压力(kN)；

F_a——纯正挤压力(kN)；

F_b——纯反挤压力(kN)；

K_1——复合挤压力与纯正挤压力比值，由图 7-32 查得；

K_2——复合挤压力与纯反挤压力比值，由图 7-33 查得。

三、冷挤压压力机的选用

由于冷挤压工艺的挤压力和挤压工作行程都很大，冷挤压件一般精度要求又很高，因而对冷

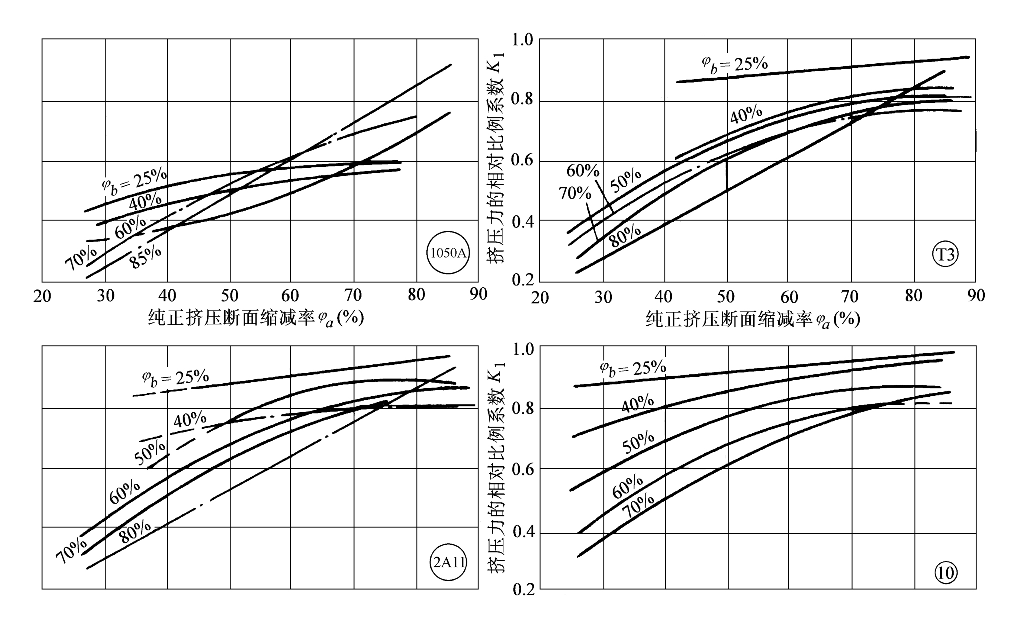


图 7-32　不同材料比值 K_1

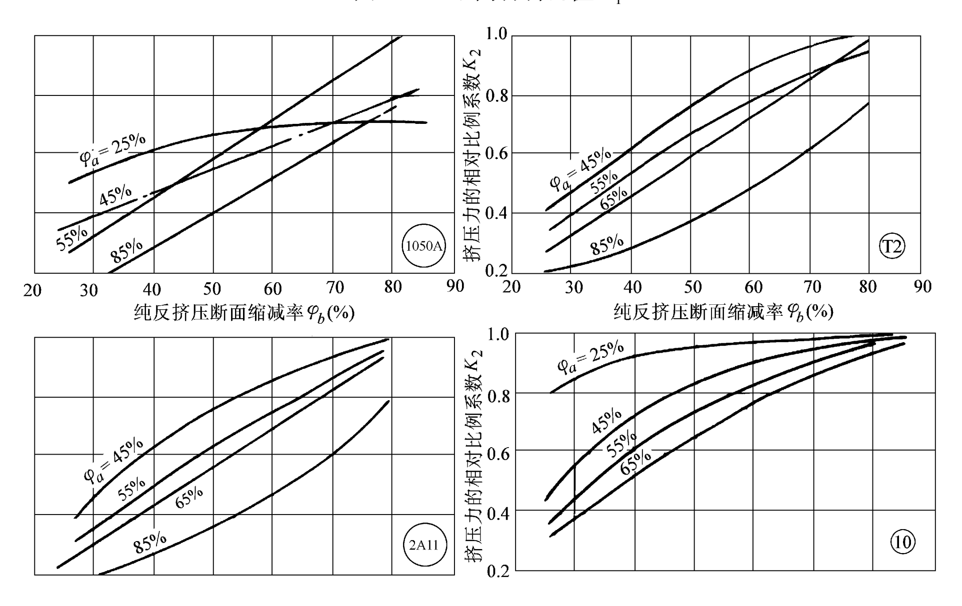


图 7-33　不同材料比值 K_2

挤压用压力机提出了一些特殊要求，如能量大、钢性好、导向精度高、具有顶出机构和过载保护装置等。因此，大量生产时应选用冷挤压专用压力机。一般情况下选用普通机械压力机和液压机。

选用普通压力机时，必须校核冷挤压的压力-行程曲线是否在压力机的许用负荷曲线范围内，不能只根据冷挤压力选择压力机的公称压力。如图 7-34 所示，图 7-34a 所示选用正确，图 7-34b 所示选用不正确。

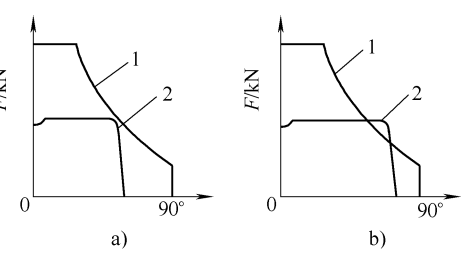


图 7-34　压力机许用负载曲线与冷挤压工艺变形力曲线

1—压力机许用负荷曲线　2—冷挤压力曲线

第四节 冷挤压凸模与凹模设计

正确选用凸模和凹模的工作部分的形状和尺寸，对于改善挤压时金属的流动，降低挤压力和提高模具寿命具有十分重要的意义。

一、凸模与凹模

1. 正挤压凹模

正挤压凹模是正挤压模的关键零件，钢铁材料及强度较高的非铁金属一般采用预应力组合结构(表 7-26)，塑性好的非铁金属及生产量小的钢铁材料可采用单独整体结构(图 7-35)，其尺寸参数见表 7-27。

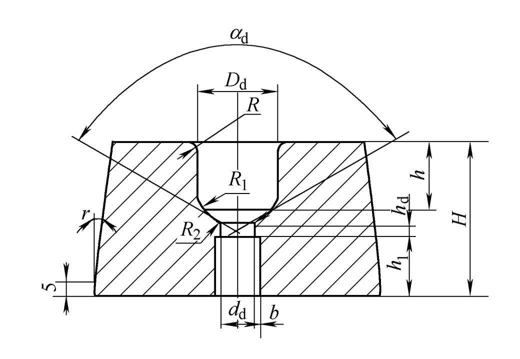


图 7-35 整体式正挤压凹模

表 7-26 正挤压凹模

序号	结构形式	特点和应用
1		由于工作部分为整体式，制造方便，精度容易保证，应用较广；但在受力情况较复杂或较大时，容易在型腔内转角处产生应力集中而造成横向开裂，因此最好在受力不大且不复杂时采用
2		是序号 1 的改进型，是纵向分割凹模，最内层凹模与组合套筒之间以大于 0.02mm 的过盈配合，制造方便，精度容易保证。一般在毛坯直径和制件直径相差较大时使用
3	10 15′	同序号 2，由于套筒尾部 10mm 处有 15′的斜角，便于凹模压入
4	1° 1~3	当挤压力较大，且毛坯直径和制件直径相差较小，采用序号 2、3 结构，则凹模强度差，可采用横向分割凹模，为防止挤压金属流入接缝，拼合面不宜过宽，一般为 1 ~ 3mm，拼合面应仔细研光。在拼合面外，在其中一块上留 1°斜度
5	1°	同序号 4，由于整体采用横向分割，所以制造困难，使用较少

2. 正挤压凸模

正挤压凸模主要形式见表 7-28，尺寸参数见表 7-29。

表 7-27　整体式正挤压凹模尺寸参数

凹模尺寸	具体参数
凹模型孔直径 D_d	制件无要求时 $D_d = D_0 + (0.15 \sim 0.2)$ 式中　D_0——毛坯直径(mm) 制件有要求时按表 7-36 计算
挤压件凹模出口孔尺寸 d_d	按表 7-36 计算
工作带高度 h_d	纯铝 $h_d = 1 \sim 2$mm 硬铝、纯铜、黄铜 $h_d = 1 \sim 3$mm 低碳钢 $h_d = 2 \sim 4$mm
凹模洞口圆角半径 R	R 一般取 2 ~ 3mm
凹模型腔过渡圆角半径 R_1	$R_1 = (D_d - d_d)/2$，但不小于 2 ~ 3mm
挤压件出口圆角半径 R_2	R_2 一般取 0.3 ~ 1mm
凹模锥角 α_d	α_d 一般取 90° ~ 140°
凹模型腔深度 h	$h = h_0 + R + R_1 + h_2$ 式中　h_0——毛坯厚度(mm) 钢 $h_2 = 10$mm 非铁金属 $h_2 = 3 \sim 5$mm
工作带下扩孔 $2b$	$2b = 0.5 \sim 1$mm
斜度 γ	$\gamma = 1°30' \sim 3°$

表 7-28　正挤压凸模主要形式

序号	结构形式	特点和应用
1		整体式凸模，结构简单，制造方便，强度高，用于挤压实心件
2		整体式结构，挤压凸模和芯轴做成一个整体，用于挤压纯铝空心件
3		固定组合式凸模芯轴与孔采用 H7/h6 过渡配合，用于挤压芯轴直径较大的钢铁材料空心制件
4		活动组合式凸模，芯轴与孔采用 H7/h6 间隙配合，用于挤压芯轴直径较小的钢铁材料空心制件。因为采用整体式凸模本体与芯轴直径急剧过渡处很容易断裂，在挤压过程中，芯轴可随变形金属的流动一起向下滑动，减少了芯轴被拉断的可能，提高了芯轴寿命

表 7-29　正挤压凸模尺寸参数

凸模尺寸	具体参数
凸模工作部分直径 D_p	凸模按凹模配作，双面间隙小于 0.01mm
凸模工作部分长度 l	l = 凹模型腔深度 + (5 ~ 8)
杆直径 D_1	$D_1 = (1.2 \sim 1.3)D_p$
头部直径 D_2	$D_2 = (1.8 \sim 2)D_p$
连接半径 r_1	$r_1 = (0.1 \sim 0.2)D_p$
过渡半径 r_2	$r_2 = (0.2 \sim 0.4)D_p$
芯轴直径 d	$d = (d_{min} + 0.75\Delta)_{-\delta}^{\ 0}$ 式中　d_{min}——制件最小孔径(mm) Δ——制件公差(mm)
芯轴长度 l_1	$l_1 = h_0 + r + (3 \sim 5)$ 式中　h_0——毛坯厚度(mm)

3. 反挤压凹模

反挤压凹模主要形式见表 7-30，尺寸参数见表 7-31。

表 7-30 反挤压凹模主要形式

序号	结构形式	特点和应用
1		整体式结构，结构简单，制造方便，缺点是底部 R_1 处容易开裂下沉，模具寿命较低。用于挤压力小或生产量不大的非铁金属制件
2		整体式结构，其底部型腔有 25° 斜度，有利于金属流动，用于挤压纯铝薄壁制件效果很好
3		组合式凹模，解决了底部开裂下沉问题，寿命较长；缺点是制件底部有一圈镶拼痕迹或一圈小毛刺，如制件底部有圆角，可让开圆角镶拼。主要用于非铁金属的冷挤压
4		横向分割上、下组合式凹模，使用寿命长，但制造复杂，制造精度要求高，为避免挤压金属流入拼合面夹缝处，拼合面宽度应小于 3mm，其余部分留有 0.2mm 的空隙。拼合面表面粗糙度值小于 $Ra0.1\mu m$。下层凹模常用挤压法制造，已成功应用于非铁金属大量生产中
5		凹模底部设有顶出装置，用于钢铁材料制件底部外形呈尖角的反挤压
6		凹模底部设有顶出装置，用于钢铁材料制件底部外形有圆角的冷挤压

表 7-31 反挤压凹模尺寸参数

凹模尺寸	具体参数
凹模洞口直径 D_d	当制件要求外形尺寸时 $D_d=(D_{min}-0.75\Delta)^{+\delta_d}_{0}$ 当制件要求内型尺寸时 $D_d=(D_p+1.9\delta)^{+\delta_d}_{0}$
凹模型腔深度 h	非铁金属 $h=h_0+R+R_1+(2\sim3)$ 钢铁材料 $h=h_0+R+R_1+(3\sim8)$ 式中 h_0——毛坯厚度(mm)
凹模洞口圆角半径 R	$R=2\sim3mm$
凹模型腔底部圆角半径 R_1	$R_1=(0.1\sim0.2)D_d$
凹模外径 D	$D\approx3D_d$，但不少于 35mm
钢铁材料凹模底部厚度 h_1	$h_1=(0.7\sim1)D_d$
凹模总厚度 H	非铁金属 $H\geqslant(2.5\sim4)h$ 钢铁材料 $H=h_1+h$

4. 反挤压凸模

反挤压凸模是反挤压模的关键零件，工作部分的形状与尺寸参数具有重要意义，它可以改善金属的流动，减小挤压力，提高模具寿命。钢铁材料反挤压凸模主要形式见表 7-32，尺寸参数见表 7-33。非铁金属反挤压凸模主要形式见表 7-34，尺寸参数见表 7-35。

表 7-32　钢铁材料反挤压凸模主要形式

序号	结构形式	特点和应用
1		是钢铁材料反挤压应用最多的结构形式，工作稳定性好，制件质量好
2		当挤压力较大时，可采用此结构，它可减小挤压力，但容易受到毛坯不平整的影响，造成挤压件壁厚不均匀
3		用于挤压平底制件或单位挤压力不大的制件

表 7-33　钢铁材料反挤压凸模尺寸参数

凸模尺寸	具体参数	凸模尺寸	具体参数
凸模工作部分直径 d_p	见表 7-36	过渡圆角半径 r_2	$r_2=(0.2\sim0.4)d_p$
凸模工作带高度 h_p	$h_p=2\sim3$mm	过渡圆角半径 r_1	$r_1=(0.2\sim0.4)d_p$
凸模小圆台直径 d_0	$d_0=(0.5\sim0.7)d_p$	凸模工作部分直径 d_2	$d_2=d_p-(0.1\sim0.2)$
凸模工作部分长度	$L\leqslant(2.5\sim3)d_p$	凸模过渡部分直径 d_3	$d_3\geqslant1.3d_p$
凸模工作部分圆角半径 r	$r=0.5\sim4$mm	固定部分斜角 γ	$\gamma=15°\sim30°$
凸模斜角 α	$\alpha=7°\sim27°$		

表 7-34　非铁金属反挤压凸模主要形式

序号	结构形式	特点和应用
1		是非铁金属反挤压应用最多的结构形式，当 $\alpha<12°$ 时，则对金属流动的改善及降低挤压力不利；当 $\alpha>25°$ 时，则挤压件往往粘卡在凹模内，不易跟凸模带出
2		当挤压力较大，没有较大吨位压力机时采用
3		用于挤压平底制件的凸模

表 7-35　非铁金属反挤压凸模尺寸参数

凸模尺寸	具体参数
凸模工作部分直径 d_p	见表 7-36
凸模工作带高度 h_p	$h_p=0.5\sim1.5$mm
凸模工作部分长度 l	纯铝 $l\leqslant(7\sim10)d_p$ 纯铜 $l\leqslant(5\sim6)d_p$ 黄铜 $l\leqslant(4\sim5)d_p$

凸模尺寸	具体参数
凸模斜角 α	$\alpha=12°\sim25°$
凸模工作部分圆角半径 r	$r=0.2\sim0.5$mm
凸模工作部分直径 d_2	$d_2=d_p-(0.1\sim0.2)$
凸模固定部分直径 d	$d=(1.1\sim1.3)d_p$

对于纯铝、纯铜反挤压用的细长凸模，为了增加其纵向稳定性，可在凸模端面做出工艺凹槽，凸模借工艺凹槽在开始挤压的瞬间将毛坯“咬住”，以提高其纵向稳定性。凹槽必须和凸模中心对称，槽宽一般取0.3~0.8mm，深0.3~0.6mm，如图7-36所示。

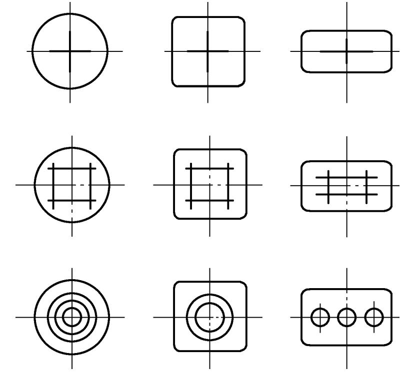


图7-36　凸模工作端面工艺凹槽

二、凸模与凹模工作部分尺寸计算(表7-36)

三、组合凹模

1. 组合凹模设计要点

为了解决凹模的横向裂纹，生产中常采用横向或纵向分割的凹模结构。为了提高凹模强度，防止纵向裂纹产生，生产中普遍使用预应力组合凹模，预应力组合凹模的优点是：提高了凹模强度，减小了凹模圈尺寸，节约了合金工具钢，便于进行热处理，提高了凹模热处理质量，凹模圈损坏后，可以更换内圈。其缺点是：层数越多，加工面也越多，各接合面加工精度较高，加工压合工艺要求高，为此只推荐二至三层组合凹模。

表7-36　凸模与凹模工作部分尺寸计算

简图	计算尺寸	计算公式
正挤压空心件	凹模型孔尺寸 D_d 凸模尺寸 D_p 凹模出口孔尺寸 d_d 芯轴尺寸 d_{1p}	$D_d=(D_{max}-0.75\Delta)^{+\delta_d}_{0}$ 按 D_d 配作，双面间隙0.002~0.008mm $d_d=(d_{max}-0.75\Delta)^{+\delta_d}_{0}$ $d_{1p}=(d_{1min}+0.75\Delta)^{0}_{-\delta_{1p}}$
要求外形尺寸的反挤压	凹模型孔尺寸 D_d 凸模尺寸 D_p	$D_d=(D_{max}-0.75\Delta)^{+\delta_d}_{0}$ $D_p=(D_{max}-0.75\Delta-1.9\delta)^{0}_{-\delta_p}$
要求内形尺寸的反挤压	凸模尺寸 d_p 凹模型孔尺寸 d_d	$d_p=(d_{min}+0.5\Delta)^{0}_{-\delta_p}$ $d_d=(D_{min}+0.5\Delta+1.9\delta)^{+\delta_d}_{0}$

注：式中　D_{max}、d_{max}——制件上极限尺寸(mm)；
d_{min}、d_{1min}——制件下极限尺寸(mm)；
Δ——制件公差(mm)；
δ——制件壁厚(mm)；
δ_p、δ_{1p}、δ_d——凸、凹模制造偏差(mm)。

设计组合凹模时，必须确定以下4个具体问题：

1）根据冷挤压单位压力的大小，首先应确定凹模结构形式，见表7-37。

2）在已知凹模型腔孔径 d_1 的条件下，确定各层凹模的直径 d_2、d_3 与 d_4。$d_3=(4\sim6)d_1$，$d_4=(4\sim6)d_1$。

3）确定各层凹模的径向(双面)过盈量 δ 与轴向压合量 C。

4）如何对组合凹模施加预应力。

表 7-37　组合凹模的形式

单位挤压力 p/MPa	凹模形式	图　示
$p \leqslant 1100$	整体凹模	
$1100 < p \leqslant 1600$	二层组合凹模	
$1600 < p \leqslant 2500$	三层组合凹模	

2. 二层组合凹模的设计

二层组合凹模结构如图 7-37 所示，具体参数见表 7-38。

3. 三层组合凹模的设计

三层组合凹模结构如图 7-38 所示，具体参数见表 7-39，组合凹模径向过盈系数经验值见表 7-40。

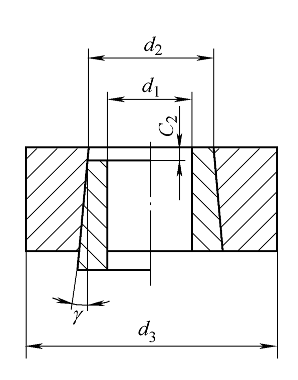


图 7-37　二层组合凹模

d_1—凹模内径

$d_3=(4\sim6)d_1$

C_2—d_2 处轴向压合量($C_2=\delta_2 d_2$)

U_2—d_2 处径向过盈量($U_2=\beta_2 d_2$)

$\gamma=1°30'$(锥度可向上，也可向下)

δ_2—d_2 处轴向压合系数

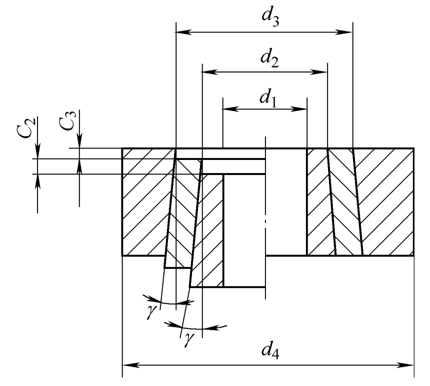


图 7-38　三层组合凹模

d_1—凹模内径

$d_4=(4\sim6)d_1$

C_2—d_2 处轴向压合量($C_2=\delta_2 d_2$)

U_2—d_2 处径向过盈量($U_2=\beta_2 d_2$)

C_3—d_3 处轴向压合量($C_3=\delta_3 d_3$)

U_3—d_3 处径向过盈量($U_3=\beta_3 d_3$)

4. 组合凹模压合方法

组合凹模压合方法见表 7-41，组合凹模压合顺序见表 7-42。

表 7-38　二层组合凹模设计参数

序号	d_3	d_2	δ_2/mm	β_2
1	$4d_1$	$1.8d_1$	0.16	0.0083
2	$5d_1$	$2.0d_1$	0.163	0.0085
3	$6d_1$	$2.2d_1$	0.166	0.0088

表 7-39　三层组合凹模设计参数

序号	d_4	d_2	d_3	δ_2/mm	β_2	δ_3/mm	β_3
1	$4d_1$	$1.55d_1$	$2.45d_1$	0.204	0.0106	0.12	0.006
2	$5d_1$	$1.7d_1$	$2.9d_1$	0.200	0.0105	0.09	0.0045
3	$6d_1$	$1.8d_1$	$3.25d_1$	0.195	0.0102	0.072	0.0038

表 7-40　组合凹模径向过盈系数经验值

凹模材料＼数值	径向过盈系数 β	
	β_2	β_3
硬质合金	0.0045～0.0065	0.004～0.006
合金模具钢	0.003～0.006	0.004～0.008

表 7-41　组合凹模压合方法

压合方法	特　点
加热压合(热装)	将外圈加热到适当温度，套装到内圈上，利用热胀冷缩的原理使外圈在冷却后将内圈压紧。加热压合各圈不必加工斜度。一般用于过盈量较小的情况 加热温度 T 按下式求得 $$t-t_1=\frac{\delta+z}{d\alpha_l} \quad (7\text{-}4)$$ 式中　t——预应力圈加热温度(℃) t_1——内圈温度(℃) δ——压合处的径向过盈量(mm) Z——插入时在 d 处的间隙(mm) d——配合处直径(mm) α_l——预应力圈线胀系数
强力压合	将各圈配合面做成一定斜度，一般取 1°30′，不宜超过 3°，以免在使用过程中各圈会自动脱落，在室温下用液压机进行压合

表 7-42　组合凹模压合顺序

压合顺序	图示	应用	压合顺序	图示	应用
由内到外		用于加热压合也可用于强力压合	由外到内		用于强力压合

注：拆卸时，应是先压出凹模，再压出中圈。

组合凹模中圈与外圈材料可按如下选择

中层预应力圈：5CrNiMo、40Cr、35CrMoA、30CrMnSiA，淬火、回火后硬度为 45～47HRC。

外层预应力圈：5CrNiMo、40Cr、35CrMoA、45、0CrNiMo，淬火、回火后硬度为 40～42HRC。

参 考 文 献

[1] 郑展．冲压工艺与模具设计[M]．北京：机械工业出版社，2008.
[2] 郑展，等．冲压模具制造工[M]．北京：机械工业出版社，2010.
[3] 陈炎嗣．多工位级进模设计与制造[M]．北京：机械工业出版社，2006.
[4] 姜伯军．级进冲模设计与模具结构实例[M]．北京：机械工业出版社，2008.
[5] 许发樾．模具设计与制造实用手册[M]．北京：机械工业出版社，2005.
[6] 王鹏驹，等．冲压模具设计师手册[M]．北京：机械工业出版社，2009.
[7] 陈炎嗣．冲压模具实用结构图册[M]．北京：机械工业出版社，2009.
[8] 洪慎章，等．多工位级进模设计实用技术[M]．北京：机械工业出版社，2010.
[9] 模具实用技术丛书编委会．冲模设计应用实例[M]．北京：机械工业出版社，2007.
[10] 翁其金．冲压工艺与冲模设计[M]．北京：机械工业出版社，2006.
[11] 陈剑鹤．冷冲压工艺与模具设计[M]．北京：机械工业出版社，2007.
[12] 《冲模设计手册》编写组．冲模设计手册[M]．北京：机械工业出版社，1999.
[13] 赵昌盛．实用模具材料应用手册[M]．北京：机械工业出版社，2005.
[14] 模具实用技术丛书编委会．模具精饰加工及表面强化技术[M]．北京：机械工业出版社，1999.
[15] 模具实用技术丛书编委会．模具材料与使用寿命[M]．北京：机械工业出版社，2006.

读者信息反馈表

感谢您购买《冲模设计手册》一书。为了更好地为您服务，有针对性地为您提供图书信息，方便您选购合适图书，我们希望了解您的需求和对我们教材的意见和建议，愿这小小的表格为我们架起一座沟通的桥梁。

姓　　名		所在单位名称		
性　　别		所从事工作(或专业)		
电子邮件			移动电话	
办公电话			邮政编码	
通信地址				

1. 您选择图书时主要考虑的因素:(在相应项前面打"✓")
( )出版社 ( )内容 ( )价格 ( )封面设计 ( )其他
2. 您选择我们图书的途径(在相应项前面打"✓")
( )书目 ( )书店 ( )网站 ( )朋友推介 ( )其他

希望我们与您经常保持联系的方式:
□电子邮件信息　□定期邮寄书目
□通过编辑联络　□定期电话咨询

您关注(或需要)哪些类图书和教材:

您对我社图书出版有哪些意见和建议(可从内容、质量、设计、需求等方面谈):

您今后是否准备出版相应的教材、图书或专著(请写出出版的专业方向、准备出版的时间、出版社的选择等):

非常感谢您能抽出宝贵的时间完成这张调查表的填写并回寄给我们,我们愿以真诚的服务回报您对我社的关心和支持。

请联系我们
通信地址　北京市西城区百万庄大街22号　机械工业出版社技能教育分社
邮政编码　100037
社长电话　(010)8837-9083　8837-9080　6832-9397(带传真)
电子邮件　cmpjjj@ vip. 163. com

为中华崛起传播智慧

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037

电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

策划编辑◎邓振飞



设计手册

作者经验丰富

五十余年模具工作经验，经手一万多副模具，深知设计、工艺人员的工作所需。

内容先进实用

基于生产实际，在阐述基础理论的同时，着重介绍了冲压新技术、新方法、新工艺，并采用最新国家标准。

实例丰富翔实

以中小型冲模的设计和冲压工艺实践为主，特别强调冲模标准的应用，重点介绍大量实例。

资料准确便查

使用大量图例和表格，文、图、表结合紧密，模具结构、标准数据、设计资料准确可靠，便查便用。



上架指导 工业技术／机械工程／模具
ISBN 978-7-111-42712-4
定价：59.00元